



(11)

**EP 4 063 901 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**28.09.2022 Patentblatt 2022/39**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**G01S 7/481**<sup>(2006.01)</sup>      **G01S 17/89**<sup>(2020.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **21164901.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**G01S 7/4817; G01S 17/89**

(22) Anmeldetag: **25.03.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
 Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(72) Erfinder: **RIEGER, Peter**  
**3824 Grossau (AT)**

(74) Vertreter: **Weiser & Voith**  
**Patentanwälte Partnerschaft**  
**Kopfgasse 7**  
**1130 Wien (AT)**

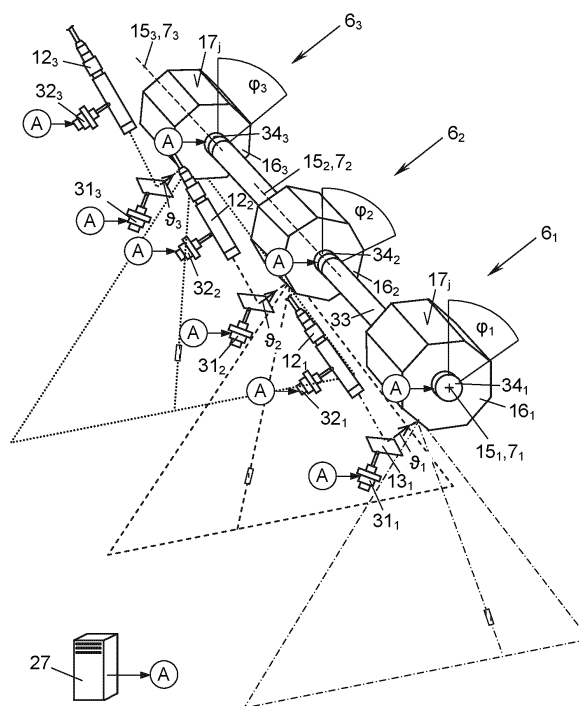
Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)  
EPÜ.

(71) Anmelder: **RIEGL Laser Measurement Systems GmbH**  
**3580 Horn (AT)**

**(54) VORRICHTUNG ZUR VERMESSUNG EINER UMGEBUNG**

(57) Vorrichtung (1) zur Vermessung einer Umgebung (2), umfassend eine erste und zumindest eine weitere Scaneinheit ( $6_k$ ) jeweils zum Aussenden eines Impulszuges ( $4_k$ ) von Laserimpulsen ( $5_{k,n}$ ) über aufeinanderfolgende Ablenkperioden ( $AP_{k,p}$ ) mit einer Impulswiederholrate (PRR), wobei die jeweils in eine Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ) fallenden Laserimpulse ( $5_{k,n}$ ) pro Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ) jeweils einen Scanfächer ( $8_k$ ) bilden, den sie mit einem vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen von der Umgebung (2) reflektierten Laserimpulse ( $5_{k,n}$ ), wobei sich alle Scanfächer ( $8_k$ ) in Richtung einer der Scanachsen ( $7_k$ ) gesehen überlappen, und eine an die zumindest eine weitere Scaneinheit ( $6_k$ ) angeschlossene Steuereinrichtung (29), welche dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) jeder weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) gegenüber den Scanfächern ( $8_{k-1}$ ) einer benachbarten Scaneinheit ( $6_{k-1}$ ) um einen von der Impulswiederholrate (PRR) und dem Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abhängigen Schwenkwinkel ( $\lambda_{k,k-1}$ ) so zu verschwenken, dass deren Abtastpunkte ( $P_{k,n}$ ) nicht zusammenfallen.



**Fig. 10**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Vermessung einer Umgebung durch Laufzeitmessung von an der Umgebung reflektierten Laserimpulsen in einem Koordinatensystem, umfassend eine erste Scaneinheit zum Aussenden eines ersten Impulszuges von Laserimpulsen über aufeinanderfolgende Ablenkperioden mit einer Impuls-

wiederholrate, wobei die jeweils in eine Ablenkperiode fallenden Laserimpulse in um eine erste Scanachse aufgefächerte erste Scanrichtungen ausgesandt werden und so pro Ablenkperiode jeweils einen ersten Scanfächer bilden, den sie mit einem vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen, von ersten Abtastpunkten der Umgebung reflektierten Laserimpulse.

**[0002]** Vorrichtungen dieser Art sind z.B. in der EP 3 182 159 B1 beschrieben und werden beispielsweise von einem Flugzeug oder Schiff mitgeführt, um Umgebungen wie den Erdboden oder Meeresgrund topographisch zu vermessen. Es ist auch möglich, eine solche Vorrichtung auf einem Landfahrzeug zu montieren, um z.B. Hausfassaden, Straßenschluchten oder Tunnel im Vorbeifahren zu vermessen. Die Vorrichtung kann auch stationär aufgestellt werden, beispielsweise in einem Tag- oder Untertagebergwerk, um dessen Abbau zu vermessen, über einem Förderband, um darauf bewegte Objekte zu vermessen, usw.

**[0003]** Von der Scaneinheit werden dabei Laserimpulse unter verschiedensten Scanrichtungen auf viele Zielpunkte ("Abtastpunkte") in der Umgebung ausgesandt, und aus Laufzeitmessungen der Zielreflexionen werden die Zielentfernungen und daraus - in Kenntnis der Lage der Scaneinheit und der jeweiligen Scanrichtung - ein Punktemodell ("3D-Punktwolke") der Umgebung erstellt. Bei mobilen, fahrzeuggestützten Vorrichtungen wird dabei der von den Scanrichtungen der Laserimpulse einer Ablenkperiode aufgespannte Scanfächer durch die Fortbewegung des Fahrzeugs über die Umgebung geführt. Bei stationären Vorrichtungen wird der Scanfächer z.B. mittels einer Drehung der Scaneinheit rundum geschwenkt, um die Umgebung abzutasten. Ebenso kann die zu vermessende Umgebung gegenüber dem Scanfächer relativbewegt werden, z.B. zur Vermessung von Gegenständen auf Förderbändern.

**[0004]** Dabei ist eine möglichst rasche und örtlich hoch auflösende Erstellung der 3D-Punktwolke wünschenswert. Der Auflösung der Punktwolke sind jedoch Grenzen gesetzt. So kann z.B. die Impulswiederholrate, welche die Anzahl der Abtastpunkte und damit die Auflösung der 3D-Punktwolke wesentlich beeinflusst, nicht beliebig erhöht werden: Bei hoher Impulswiederholrate oder größerer Zielentfernung wird beispielsweise schon der nächste Laserimpuls ausgesandt, noch bevor der reflektierte erste Sendeimpuls empfangen wird, sodass die eintreffenden Empfangsimpulse nicht mehr eindeutig ihrem jeweiligen Sendeimpuls zugeordnet werden können. Dies ist als "multiple time around"-(MTA-) -Problem bekannt. Die maximale Größe  $d_{\max}$  eines eindeutig vermessbaren Entfernungsbereiches, einer sog. MTA-Zone, ergibt sich dabei aus der Impulswiederholrate (pulse repetition rate) PRR und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  zu  $d_{\max} = c/(2 \cdot \text{PRR})$ .

**[0005]** Zusätzlich treten an den Rändern jeder MTA-Zone konstruktionsbedingt sogenannte "blind ranges" auf, weil die Empfangselektronik durch Nahreflexionen eines ausgesandten Laserimpulses an z.B. Gehäuse- oder Montageteilen der Vorrichtung gesättigt bzw. überlastet und damit "blind" für den Empfang eines reflektierten Laserimpulses ist. Möglichst große MTA-Zonen sind daher erstrebenswert, um die Anzahl der "blind ranges" über den gesamten zu vermessenden Entfernungsbereich zu minimieren. Dies begrenzt aber wiederum die Impulswiederholrate und folglich die Anzahl von Abtastpunkten und damit Auflösung der 3D-Punktwolke.

**[0006]** Eine bloße Erhöhung der Abtastpunkte in der 3D-Punktwolke erhöht aber noch nicht notwendigerweise auch deren Ortsauflösung. So könnten z.B. manche Zielpunkte mehrfach abgetastet werden, d.h. sich lokale Cluster von Abtastpunkten bilden, und andere Bereiche der Umgebung zu wenig Abtastpunkte enthalten, sodass die gewünschte Auflösung der 3D-Punktwolke nicht über die gesamte Umgebung vorliegt. Eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Abtastpunkte über die Umgebung ist daher wesentlich, um eine hochwertige 3D-Punktwolke zu erzielen.

**[0007]** Die Erfindung setzt sich zum Ziel, eine Vorrichtung zum Laserscannen zu schaffen, welche eine besonders rasche und aussagekräftige Erstellung einer 3D-Punktwolke der Umgebung ermöglicht.

**[0008]** Dieses Ziel wird mit einer Vorrichtung der einleitend genannten Art erreicht, welche sich erfindungsgemäß auszeichnet durch zumindest eine weitere Scaneinheit zum Aussenden eines weiteren Impulszuges von Laserimpulsen über aufeinanderfolgende Ablenkperioden mit derselben Impulswiederholrate, wobei die jeweils in eine Ablenkperiode fallenden Laserimpulse in um eine weitere Scanachse aufgefächerte weitere Scanrichtungen ausgesandt werden und so pro Ablenkperiode jeweils einen weiteren Scanfächer bilden, den sie mit demselben vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen, von weiteren Abtastpunkten der Umgebung reflektierten Laserimpulse, wobei sich alle Scanfächer in Richtung einer der Scanachsen gesehen im Wesentlichen überlappen, und eine an die zumindest eine weitere Scaneinheit angeschlossene Steuereinrichtung, welche dazu ausgebildet ist, die Scanfächer jeder weiteren Scaneinheit gegenüber den Scanfächern einer in einer vorgegebenen Reihung der Scaneinheiten jeweils benachbarten Scaneinheit um einen von der Impulswiederholrate und dem Winkelgeschwindigkeitsprofil abhängigen Schwenkwinkel so zu verschwenken, dass die weiteren Abtastpunkte nicht mit den ersten Abtastpunkten zusammenfallen.

**[0009]** Die Laserscannvorrichtung der Erfindung kann durch ihre Vielzahl an Scaneinheiten gleichzeitig zwei oder mehr Scanfächer aussenden, wodurch in derselben Zeit zumindest doppelt so viele Abtastpunkte der Umgebung für die

Punktwolke erstellt werden können. Werden die Vorrichtung und die Umgebung zusätzlich in der Scanachsenrichtung eines Scanfächers relativ zueinander bewegt, kann im Überlappungsbereich der Scanfächer ein von einem in Scanachsenrichtung gesehen vorderen Scanfächer bereits gescannter Bereich der Umgebung von einem in dieser Scanachsenrichtung gesehen hinteren Scanfächer erneut gescannt werden. Dabei verhindert das erfindungsgemäße Verschwenken der Scanfächer, dass die Laserimpulse des hinteren Scanfächers die vom vorderen Scanfächer bereits gescannten Abtastpunkte des Bereichs unter Umständen erneut treffen, d.h. die Abtastpunkte der vorderen und hinteren Scanfächer zusammenfallen. Dies garantiert, dass die Umgebung tatsächlich mit einer höheren Auflösung vermessen wird.

**[0010]** Impulswiederholrate und Winkelgeschwindigkeit können für eine spezifische Vermessungsaufgabe fix vorgegeben sein oder sich während der Vermessung ändern. Dabei ermöglicht die erfindungsgemäße Abhängigkeit des Schwenkwinkels von der Impulswiederholrate und dem Winkelgeschwindigkeitsprofil der Steuereinrichtung einen automatisch daran angepassten Betrieb. Die Steuereinrichtung kann diese Werte z.B. selbst messen oder von einer Messeinheit oder einem Stellwertgeber empfangen, mit dem der Messtechniker diese Werte im Betrieb einstellt.

**[0011]** Nicht zuletzt empfängt jede Scaneinheit nur die in der jeweiligen Scanrichtung ihres eigenen Scanfächers von der Umgebung reflektierten Laserimpulse, wodurch die von unterschiedlichen Scaneinheiten ausgesandten Laserimpulse empfängerseitig geometrisch getrennt sind. Dies erlaubt es, die Anzahl an verarbeiteten Laserimpulsen pro Zeit entsprechend der Anzahl an Scaneinheiten zu vervielfachen, ohne dabei die MTA-Zonen zu verkleinern.

**[0012]** Im Ergebnis erzielt die Vorrichtung der Erfindung eine besonders rasche, hochwertige und aussagekräftige Vermessung der Umgebung.

**[0013]** Wie bereits kurz erörtert besteht eine bevorzugte Anwendungsform der Vorrichtung der Erfindung darin, dass sie auf einem Fahrzeug, das für eine Hauptbewegungsrichtung ausgebildet ist, bevorzugt auf einem Luftfahrzeug, mit ihren Scanachsen jeweils nicht-normal zur Hauptbewegungsrichtung montiert ist. Dadurch ist sichergestellt, dass die Hauptbewegungsrichtung eine Komponente in Richtung der Scanachse, in welcher gesehen die Scanfächer einander überlappen, aufweist. Dadurch kann ein in dieser Richtung gesehen hinterer Scanfächer einen bereits von einem in dieser Richtung gesehen vorderen Scanfächer gescannten Umgebungsbereich erneut scannen, um darin die Dichte der Abtastpunkte in der 3D-Punktwolke zu erhöhen.

**[0014]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, das Winkelgeschwindigkeitsprofil abhängig von zumindest einem vergangenen Entfernungsmesswert der Umgebung vorzugeben. Dies erlaubt einerseits die Abstände zwischen den Abtastpunkten innerhalb eines Scanfächers und andererseits die Abstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Scanfächern einer Scaneinheit zu vergleichmäßigen. Beispielsweise könnte die Vorrichtung auf einem Flugzeug montiert sein und die Steuereinrichtung das Winkelgeschwindigkeitsprofil flughöhenabhängig so vorgeben, dass eine größere Flughöhe mit höheren und eine kleinere Flughöhe mit niedrigeren Winkelgeschwindigkeiten einhergeht, um bei konstanter Impulswiederholrate über die ganze zu vermessende Umgebung möglichst dieselben Abtastpunktabstände innerhalb der Scanfächer und dieselben Scanfächerabstände zu erreichen.

**[0015]** Grundsätzlich können die Scanfächer unterschiedlicher Scaneinheiten zueinander in beliebiger Lage angeordnet sein, sofern sie in Richtung einer der Scanachsen gesehen überlappen. In einer vorteilhaften Ausführungsform fallen jedoch alle Scanachsen zusammen. Dadurch sind die Scanfächer parallel und gehen von einer einzigen Scanachse aus. Der auf die Scanfächer einer Scaneinheit angewandte Schwenkwinkel ist dadurch nicht mehr von einem allfälligen Neigungswinkel zwischen den unterschiedlichen Scanachsen abhängig.

**[0016]** Zusammenfallende Scanachsen erlauben vor allem auch eine von der Entfernung der Umgebung unabhängige Bestimmung des Schwenkwinkels. Dadurch kann der zur Vergleichmäßigung der Abtastpunkte erforderliche Schwenkwinkel besonders einfach bestimmt und für unterschiedliche Umgebungs-Topographien verwendet werden. Überdies ermöglicht die Verwendung einer gemeinsamen Scanachse eine Maximierung des Überlappungsbereichs der Scanfächer und damit der Breite des Scanstreifens, in dem die Umgebung in der verbesserten Auflösung gescannt werden kann.

**[0017]** Bei zusammenfallenden Scanachsen ist es besonders vorteilhaft, wenn die Steuereinrichtung ferner dazu ausgebildet ist, die Scanfächer jeder weiteren Scaneinheit gegenüber den Scanfächern einer in einer vorgegebenen Reihung der Scaneinheiten jeweils benachbarten Scaneinheit so zu verschwenken, dass die Scanrichtungen der Scanfächer, wenn diese im Wesentlichen dieselbe Ebene im Koordinatensystem einnehmen, um die Scanachsen in regelmäßigen Winkelabständen angeordnet sind. Die Scanfächer können dieselbe Ebene im Koordinatensystem auf zwei Arten einnehmen: Erstens, wenn die Vorrichtung gegenüber der Umgebung bewegt wird und eine in Bewegungsrichtung gesehen hintere Scaneinheit ihren Scanfächer in jene Ebene aussendet, in die eine in Bewegungsrichtung vordere Scaneinheit bereits einen Scanfächer aussandte, sodass diese zeitlich versetzt ausgesandten Scanfächer dieselbe Ebene einnehmen. Dies gilt, wenn die Umgebung gegenüber der Vorrichtung bewegt wird, vice versa. Zweitens, wenn unterschiedliche Scaneinheiten ihre Scanfächer zur selben Zeit in derselben Ebene aussenden, sodass diese permanent dieselbe Ebene einnehmen. Durch die regelmäßige Anordnung der Scanrichtungen im Winkelbereich kann ein allfälliges Zusammenfallen der Abtastpunkte unterschiedlicher Scanfächer in der Umgebung unabhängig von deren Entfernung verhindert und dadurch die Auflösung der 3D-Punktwolke unabhängig von der Topographie stets erhöht werden.

**[0018]** Insbesondere ist es dazu günstig, wenn der Schwenkwinkel zwischen den Scanfächern je zweier in der Reihung einander benachbarter Scaneinheiten, wenn die Scanfächer im Wesentlichen dieselbe Ebene im Koordinatensystem

einnehmen, vermehrt um die Winkeldifferenz zwischen den in diesen zwei Scanfächern jeweils erstabgeschrittenen Scanrichtungen, dem Winkel zwischen zwei in einem Scanfächer aufeinanderfolgend abgeschrittenen Scanrichtungen, dividiert durch die Anzahl aller Scaneinheiten, entspricht, optional vermehrt um ein Vielfaches dieses Winkels.

**[0019]** Die Erfindung stellt zwei - optional auch miteinander kombinierbare - Ausführungsformen einer Scanfächer-Verschwenkung durch die Steuereinrichtung bereit. In einer ersten Ausführungsform wird diese Verschwenkung auf elektronischem Wege erreicht, indem die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die Scanfächer der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit durch Steuern eines zeitlichen Versatzes beim Aussenden ihres Impulszuges von Laserimpulsen zu verschwenken. Dabei werden die Ansteuerpulse der Laserquellen der Scaneinheiten, z.B. durch Verzögerungsglieder, phasenversetzt, was ein besonders schnelles und präzises Verschwenken ihrer Scanfächer ermöglicht. Außerdem kann die Ansteuerungssoftware oder -hardware kostengünstig reproduziert und so die industrielle Herstellung der Vorrichtung erleichtert werden.

**[0020]** In einer zweiten Ausführungsform wird die Verschwenkung auf optischem Wege erreicht, indem die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die Scanfächer der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit durch Steuern optischer Elemente im Strahlengang ihrer Laserimpulse zu verschwenken. Das Verwenden gesteuerter optischer Elemente, z.B. elektrooptischer Elemente, schwenk- oder drehbarer Spiegel, Prismen usw., im Strahlengang erlaubt es, die Scanfächer ohne Beschneidung des Fächerwinkels zu verschwenken.

**[0021]** Die Scaneinheiten der Vorrichtung können z.B. mit Schwingspiegel-, Drehspiegel-, Palmscannern od.dgl. aufgebaut sein. In einem besonders bevorzugten Vorrichtungsaufbau umfasst jede Scaneinheit eine Ablenkeinrichtung mit einem um seine Prismenachse drehbaren Spiegelprisma, dessen Mantelseiten jeweils eine Spiegelfläche bilden und dessen Prismenachse die Scanachse ist, und einen Lasersender zum Aussenden des jeweiligen Impulszuges von Laserimpulsen in einer jeweiligen Senderichtung auf die Ablenkeinrichtung. Mit einem solchen rotierenden Spiegelprisma kann ein konstantes Winkelgeschwindigkeitsprofil beim Abschreiten des Scanfächers und anschließendes Rückspringen an den Anfang des Scanfächers in der nächsten Ablenkperiode erreicht werden, d.h. ein zeilenweises Abtasten der Umgebung mit hoher Geschwindigkeit.

**[0022]** Wenn dabei die Ablenkeinrichtungen aller Scaneinheiten bevorzugt durch ein und dieselbe Ablenkeinrichtung gebildet sind, ergibt sich ein besonders kompakter Aufbau der Scaneinheiten, und gesonderte Antriebe für jedes Spiegelprisma können entfallen. Zusätzlich können so die Scanrichtungen unterschiedlicher Scanfächer durch Referenzierung auf das eine gemeinsame Spiegelprisma besonders einfach aufeinander abgestimmt werden. Außerdem führt ein einziges Spiegelprisma konstruktionsbedingt zum selben Winkelgeschwindigkeitsprofil für die Scanfächer aller Scaneinheiten, so dass diese nicht gesondert synchronisiert werden müssen.

**[0023]** In dem bevorzugten Vorrichtungsaufbau der Erfindung können die Scanrichtungen unterschiedlicher Scanfächer im Winkelbereich insbesondere dadurch regelmäßig angeordnet werden, dass der Schwenkwinkel zwischen den Scanfächern je zweier in der Reihung einander benachbarter Scaneinheiten gewählt wird als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left( 2 \cdot (\vartheta_k - \vartheta_{k-1}) + \left[ \omega \cdot \frac{D_{k,k-1}}{v} \bmod \frac{360^\circ \cdot 2}{J} \right] \right) \bmod \frac{\omega}{PRR} \quad (1)$$

mit

K ..... Anzahl der Scanfächer,

$\lambda_{k,k-1}$  .. Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers gegenüber dem (k-1)-ten Scanfächer,

$\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,

PRR ... Impulswiederholrate,

i ..... eine ganze Zahl,

$\vartheta_k$  .... Senderichtung des k-ten Lasersenders,

$D_{k,k-1}$  .. Distanz zwischen dem k-ten und (k-1)-ten Scanfächer entlang der Prismenachse,

v ..... Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung und Umgebung,

J ..... Anzahl der Spiegelflächen und

mod... Modulo-Operator.

**[0024]** In dem genannten bevorzugten Vorrichtungsaufbau der Erfindung können insbesondere drei vorteilhafte - optional auch miteinander kombinierbare - Varianten für das Verschwenken der Scanfächer mittels optischer Elemente vorgesehen werden.

**[0025]** In einer ersten Variante weist der Lasersender einen im Strahlengang der Laserimpulse liegenden verstellbaren Umlenkspiegel auf und die Steuereinrichtung ist dazu ausgebildet, die Scanfächer der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit durch Verstellen des Umlenkspiegels zu verschwenken. Der Umlenkspiegel definiert durch seine

Lage die jeweilige Senderichtung und kann z.B. von einem mit der Steuereinrichtung verbundenen Aktuator verstellt werden. Ein leichter Umlenkspiegel kann aufgrund seiner geringen Massenträgheit besonders schnell verstellt werden, sodass eine z.B. aufgrund einer Änderung des Winkelgeschwindigkeitsprofils notwendige Verschwenkung schnell ausgeführt werden kann. Außerdem kann ein Umlenkspiegel über einen großen Winkelbereich verstellt werden und damit

auch große Änderungen der Senderichtung und des Schwenkwinkels erwirken.  
**[0026]** In einer zweiten Variante ist der Lasersender gegenüber der Ablenkeinrichtung verstellbar gelagert und die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die Scanfächer der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit durch Steuern der Lage des zugehörigen Lasersenders zu verschwenken. In dieser Variante werden die Lasersender von mit der Steuereinrichtung verbundenen Aktuatoren verstellt, z.B. verschwenkt oder verschoben, sodass auch ohne Umlenkspiegel große Schwenkwinkel erzielt werden können.

**[0027]** In der ersten und der zweiten Variante könnte zum Empfangen der Laserimpulse verschwenkter Scanfächer die Empfangsapertur des Laserempfängers jeder weiteren Scaneinheit so vergrößert werden, dass die reflektierten Laserimpulse auch des verschwenkten zugehörigen Scanfächers noch innerhalb dieser Empfangsapertur liegen. Alternativ dazu können die Laserempfänger der weiteren Scaneinheiten ihre Empfangsapertur beibehalten, wenn die Blickrichtung der Laserempfänger gleichsam mit dem zugehörigen Scanfächer mitverschwenkt wird, z.B. indem die Steuereinrichtung verstellbare optische Elemente im Strahlengang der reflektierten Laserimpulse oder die Lage der Laserempfänger selbst steuert.

**[0028]** In einer dritten Variante ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die Scanfächer der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit durch Steuern der Phasenlage der Drehbewegung des Spiegelprismas zu verschwenken. Dadurch können die ohnehin vorhandenen Spiegelprismen - z.B. durch entsprechendes Ansteuern ihrer Drehachsen-Antriebe - gleich zur Scanfächer-Verschwenkung mitverwendet werden, wodurch zusätzliche optische Elemente entfallen.

**[0029]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gehen alle Scanfächer vom selben Punkt aus, wodurch eine Beabstandung der Scanfächer-Scheitelpunkte bei der Verschwenkung der Scanfächer nicht berücksichtigt werden muss. Zusätzlich erlaubt dies eine besonders kompakte Bauweise, weil ein Spiegelprisma geringer Länge zum Aussenden verwendet werden kann.

**[0030]** Insbesondere kann bei zusammenfallenden Scanachsen die regelmäßige Anordnung der Scanrichtungen aller Scanfächer, wenn sie im Wesentlichen dieselbe Ebene im Koordinatensystem einnehmen, dadurch bewerkstelligt werden, dass der Schwenkwinkel zwischen den Scanfächern je zweier in der Reihung einander benachbarten Scaneinheiten gewählt wird als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left[ (R_{k,1,p} - R_{k-1,1,p}) \bmod \frac{\omega}{PRR} \right] \quad (2)$$

mit

K..... Anzahl der Scanfächer,

$\lambda_{k,k-1}$  Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers gegenüber dem (k-1) -ten Scanfächer (k = 1 ... K),

$\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,

PRR ... Impulswiederholrate,

i ..... eine ganze Zahl,

$R_{k,1,p}$ ... erstabgeschrittene Scanrichtung der k-ten Scaneinheit in einer Referenz-Ablenkperiode,

$R_{k-1,1,p}$ ... erstabgeschrittene Scanrichtung der (k-1) -ten Scaneinheit in jener Ablenkperiode, in welcher ihr Scanfächer im Wesentlichen dieselbe Ebene im Koordinatensystem einnimmt wie der Scanfächer der k-ten Scaneinheit in der Referenz-Ablenkperiode, und  
 mod ... Modulo-Operator.

**[0031]** Wie aus Gleichung (2) ersichtlich fließen dabei in die Bestimmung des Schwenkwinkels lediglich die erstabgeschrittenen Scanrichtungen der Scaneinheiten in den jeweiligen Ablenkperioden, die Impulswiederholrate und das Winkelgeschwindigkeitsprofil ein, sodass der Schwenkwinkel von der Topographie der zu vermessenden Umgebung und der Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung und Umgebung unabhängig ist.

**[0032]** Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigeschlossenen Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine auf einem Luftfahrzeug montierte Laserscanvorrichtung und eine ihrer Scaneinheiten beim Aussenden ihres Scanfächers zur Vermessung einer Umgebung in einer schematischen Perspektivansicht;

Fig. 2 einen Sende- und Empfangskanal der Vorrichtung von Fig. 1 in einem Blockschaltbild mit schematisch eingezeichneten Strahlengängen;

die Fig. 3a - 3d vier verschiedene Ausführungsformen der Laserscannvorrichtung jeweils montiert auf einem Luftfahrzeug beim Vermessen einer Umgebung mit drei Scaneinheiten, welche jeweils einen Scanfächer aussenden und jeweils einen Sende- und Empfangskanal bilden, in einer schematischen Perspektivansicht;

Fig. 4 ein beispielhaftes Intensität/Zeit-Diagramm von Impulszügen von Laserimpulsen, die von den Scaneinheiten der Laserscannvorrichtungen der Fig. 3a - 3d ausgesandt werden;

Fig. 5 eine beispielhafte Abtastpunkteverteilung auf der Umgebung, wie sie mit den Scanfächern von Fig. 3a, jedoch ohne erfindungsgemäße Verschwenkung für die Impulszüge von Fig. 4 erhalten würde, in einer Draufsicht;

Fig. 6 die erfindungsgemäße Verschwenkung der Scanfächer der Ausführungsform der Fig. 3a - 3d in Richtung der Scanachsen gesehen;

Fig. 7 eine beispielhafte Abtastpunkteverteilung auf der Umgebung, wie sie mit den verschwenkten Scanfächern von Fig. 6 erhalten wird, in einer Draufsicht;

Fig. 8 ein Intensität/Zeit-Diagramm von zeitlich versetzten Impulszügen von Laserimpulsen, die in einer ersten, elektronisch realisierten Ausführungsform zur Scanfächerverschwenkung bei den Laserscannvorrichtungen der Fig. 3a - 3d verwendet werden;

Fig. 9 die erste, elektronisch realisierte Ausführungsform der Laserscannvorrichtungen der Fig. 3a - 3d in einem Blockschaltbild mit schematisch eingezeichneten Strahlengängen;

die Fig. 10 und 11 verschiedene Varianten einer zweiten, optisch realisierten Ausführungsform der Laserscannvorrichtung der Fig. 3a bzw. 3b einmal in einer Perspektivansicht (Fig. 10) und einmal in Scanachsenrichtung gesehen (Fig. 11) jeweils mit schematisch eingezeichneten Strahlengängen.

**[0033]** In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 1 zum Vermessen einer Umgebung 2 von einem Fahrzeug 3 aus gezeigt. Die zu vermessende Umgebung 2 kann beispielsweise eine Landschaft (Terrain) sein, aber auch der Straßenboden und die Fassaden entlang eines Straßenzugs, die Innenoberfläche einer Halle, eines Tunnels oder Bergwerks, oder die Meeresoberfläche oder der Meeresboden, usw. Bei dem Fahrzeug 3 kann es sich um ein Land-, Luft- oder Wasserfahrzeug handeln, bemannt oder unbemannt. Alternativ könnte die Vorrichtung 1 auch stationär sein und entweder eine ruhende oder eine gegenüber der Vorrichtung 1 relativbewegte Umgebung 2 vermessen, z.B. auf einem Förderband bewegte Gegenstände, Werkstücke, etc.

**[0034]** Die Vorrichtung 1 tastet mittels eines ausgesandten Impulszuges 4 von Laserimpulsen  $5_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) die Umgebung 2 zwecks deren Vermessung ab. Dazu werden die Laserimpulse  $5_n$  von einer Scaneinheit 6 in Scanrichtungen  $R_n$  ausgesandt, die um eine Scanachse 7 mit einer Ablenkperiode AP (siehe dazu später Fig. 4) geschwenkt werden. Dadurch fächern die Scanrichtungen  $R_n$  der Laserimpulse  $5_n$  innerhalb einer Ablenkperiode AP zwischen einer erstabgeschrittenen Scanrichtung  $R_1$  und einer letztabgeschrittenen Scanrichtung  $R_\Omega$  einen Scanfächer 8 auf, den sie mit einem Winkelgeschwindigkeitsprofil  $\omega$  abschreiten. Das Winkelgeschwindigkeitsprofil  $\omega$  ist durch den konkreten Aufbau der Scaneinheit 6 bestimmt und kann entweder über die Ablenkperiode AP konstant sein, d.h.  $\omega = \text{konst}$ , oder sich innerhalb der Ablenkperiode AP bzw. für Scanrichtungen  $R_n$  ändern, d.h.  $\omega = \omega(t)$  bzw.  $\omega = \omega(R_n)$ .

**[0035]** Zusätzlich wird die Vorrichtung 1 in Fortbewegungsrichtung F des Fahrzeugs 3 mit einer Relativgeschwindigkeit v vorwärtsbewegt, um die Umgebung 2 im Wesentlichen in einem Scanstreifen 9 abzutasten. Wenn das Fahrzeug 3 ein Flugzeug ist, ist die Fortbewegungsrichtung F die Hauptflugrichtung des Flugzeugs, für die es gebaut ist. Die Fortbewegungsrichtung F liegt dazu nicht in der Ebene des Scanfächers 8. Im gezeigten Fall ist die Fortbewegungsrichtung F normal zur Ebene des Scanfächers 8, sodass der Scanfächer 8 in Nadir-Richtung des Fahrzeugs 3 liegt und nach unten auf die Umgebung 2 gerichtet ist. Der Scanfächer 8 kann aber auch z.B. um eine Hochachse g des Fahrzeugs 3 verdreht sein, sodass seine Schnittlinien 10 mit der Umgebung 2, die "Scanzeilen", im Scanstreifen 9 schräg zur projizierten Fortbewegungsrichtung F liegen. In gleicher Weise könnte der Scanfächer 8 um eine Nickachse p und/oder Rollachse r des Fahrzeugs 3 verdreht sein.

**[0036]** Jeder Laserimpuls  $5_n$  wird von der Vorrichtung 1 zur Umgebung 2 ausgesandt, von dieser an einem Abtastpunkt ("Zielpunkt")  $P_n$  der Umgebung 2 zurück zur Vorrichtung 1 reflektiert und von der Scaneinheit 6 empfangen. Aus einer Laufzeitmessung der Laserimpulse  $5_n$  können Entfernungsmesswerte  $d_n$  von der jeweils aktuellen Position  $\text{pos}_n$  der Vorrichtung 1 zum jeweiligen Abtastpunkt  $P_n$  der Umgebung 2 berechnet werden anhand der bekannten Beziehung

$$d_n = c \cdot \Delta T_n / 2 = c \cdot (t_{E,n} - t_{S,n}) / 2 \quad (3)$$

mit

$t_{S,n}$  ..... Sendezeitpunkt des Laserimpulses  $5_n$ ,  
 $t_{E,n}$  ..... Empfangszeitpunkt des Laserimpulses  $5_n$  und

c ..... Lichtgeschwindigkeit.

**[0037]** In Kenntnis der jeweiligen Position  $pos_n$  der Vorrichtung 1 bei Aussendung des Laserimpulses  $5_n$  in einem lokalen oder globalen x/y/z-Koordinatensystem 11 der Umgebung 2, der jeweiligen Orientierung  $ori_n$  der Vorrichtung 1 im Koordinatensystem 11, angegeben z.B. durch die Kipp-, Roll- und Gierwinkel des Fahrzeugs 3 um seine Quer-, Längs- und Hochachsen p, r, g, und der jeweiligen Winkellage  $ang_n$  des Laserimpulses  $5_n$  in Richtung auf den Punkt  $P_n$  bezüglich des Fahrzeugs 3 kann dann aus dem jeweiligen Entfernungsmesswert  $d_n$  die Position des Abtastpunkts  $P_n$  im Koordinatensystem 11 berechnet werden. Eine Vielzahl solcherart vermessener und berechneter Abtastpunkte  $P_n$  bildet die Umgebung 2 in Form einer "3D-Punktwolke" im Koordinatensystem 11 ab.

**[0038]** Fig. 2 zeigt das Laufzeit-Messprinzip der Vorrichtung 1 in einem Sende/Empfangs-Kanal der Vorrichtung 1, welcher für die in Fig. 1 beispielhaft dargestellten Scanfächer 8 der Scaneinheit 6 zuständig ist.

**[0039]** Gemäß Fig. 2 werden die Laserimpulse  $5_n$  in jedem Sende/Empfangs-Kanal der Vorrichtung 1 von einem Lasersender 12 über einen Umlenkspiegel 13 und eine Ablenkeinrichtung 14 ausgesandt. In Fig. 2 ist die Ablenkeinrichtung 14 ein sich um seine Prismenachse 15 mit einer vorgebbaren Winkelgeschwindigkeit  $\omega_A$  drehendes Spiegelprisma 16, dessen Mantelseiten jeweils eine Spiegelfläche  $17_j$  ( $j = 1, 2, \dots, J$ ) bilden und dessen Prismenachse 15 die Scanachse 7 ist. Dabei geben die konstante oder variable Winkelgeschwindigkeit  $\omega_A$  und die Anzahl J an Spiegelflächen  $17_j$  das genannte Winkelgeschwindigkeitsprofil  $\omega$  und die Dauer  $T_{AP}$  einer Ablenkperiode AP gemäß den Formeln  $\omega = 2 \cdot \omega_A$  und  $AP = 360^\circ / (\omega_{A,d} \cdot J)$ , wobei  $\omega_{A,d}$  die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit  $\omega_A$  bezeichnet, vor. Alternativ könnte die Ablenkeinrichtung 14 durch jede andere im Stand der Technik bekannte Ablenkeinrichtung ausgeführt sein, z.B. als schwingender Spiegel, rotierende Spiegelpyramide, etc. Ebenso könnte auch der Lasersender 12 nicht-normal zur Prismenachse 15 auf die Ablenkeinrichtung 14 senden, wodurch beispielsweise das Winkelgeschwindigkeitsprofil  $\omega$  sich gemäß der Formel  $\omega = G \cdot \omega_A$  berechnet, wobei G ein geometrischer Projektionsfaktor  $G \neq 2$  ist.

**[0040]** Die ausgesandten Laserimpulse  $5_n$  werden nach einer Reflexion am jeweiligen Umgebungspunkt  $P_n$  auf demselben Weg über die Ablenkeinrichtung 14 zurückerhalten und treffen auf einem Laserempfänger 18 auf, d.h. die aktuelle Blickrichtung des Laserempfängers 18 ist gleich der aktuellen Scanrichtung  $R_n$ . Die Sendezeitpunkte  $t_{s,n}$  der Laserimpulse  $5_n$  und die Empfangszeitpunkte  $t_{e,n}$  der umgebungsreflektierten Laserimpulse  $5_n$  werden einem Entfernungs-Rechner 19 zugeführt, der daraus anhand der Gleichung (3) die jeweilige Entfernung  $d_n$  berechnet.

**[0041]** Die Impulsrate (pulse repetition rate, PRR) der Laserimpulse  $5_n$  ist konstant oder kann z.B. zur Auflösung von MTA- (multiple time around) -Mehrdeutigkeiten innerhalb einer Ablenkperiode AP moduliert werden, um die Zuordnung von gesendeten und empfangenen Laserimpulsen  $5_n$  zueinander zu erleichtern, wie in der Technik bekannt.

**[0042]** In den Fig. 1 und 2 wurden zur Erklärung des Messprinzips nur die Scanfächer 8 einer Scaneinheit 6 der Vorrichtung 1 bzw. der zugehörige Sende-/Empfangskanal gezeigt. Die Fig. 3a - 3d zeigen dagegen jeweils die auf dem Flugzeug 3 mitgeführte Laserscan-Vorrichtung 1 mit mehreren (hier: drei) wie in Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 beschriebenen Scaneinheiten  $6_k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ; hier  $K = 3$ ), d.h. in einer vorgegebenen Reihung einer "ersten", "zweiten" und "dritten" Scaneinheit  $6_1, 6_2, 6_3$ . Es versteht sich, dass die Vorrichtung 1 eine beliebige Anzahl  $K > 1$  an Scaneinheiten  $6_k$  haben kann.

**[0043]** Jede der drei Scaneinheiten  $6_k$  sendet wiederholt ihren jeweiligen Impulszug  $4_k$  von Laserimpulsen  $5_{k,n}$  mit derselben Impulswiederholrate PRR in Scanrichtungen  $R_{k,n}$  aus, die um eine jeweilige Scanachse  $7_k$  aufgefächert sind. Pro Ablenkperiode AP spannen die Scanrichtungen  $R_{k,n}$  einer Scaneinheit  $6_k$  somit jeweils einen zugehörigen Scanfächer  $8_k$  auf und schreiten diesen mit demselben Winkelgeschwindigkeitsprofil  $\omega$  ab.

**[0044]** In der Ausführungsform von Fig. 3a liegen die Scanachsen  $7_k$  der Scanfächer  $8_k$  auf einer gemeinsamen Geraden 21, d.h. sie fallen zusammen, und sind in Richtung der Geraden 21 mit gegenseitigen Abständen  $D_{k,k-1}$  voneinander beabstandet. Dadurch sind die Scanfächer  $8_k$  der Scaneinheiten  $6_k$  parallel. In der Ausführungsform von Fig. 3b fallen sowohl die Scanachsen  $7_k$  der Scanfächer  $8_k$  als auch deren Scheitelpunkte  $22_k$  zusammen, d.h. die Scanfächer  $8_k$  liegen in einer gemeinsamen Ebene und gehen von einem gemeinsamen Scheitelpunkt  $22_{1,2,3}$  aus. In der Ausführungsform Fig. 3c gehen die Scanfächer  $8_k$  von einem gemeinsamen Scheitelpunkt  $22_{1,2,3}$  aus, sind aber nicht parallel, sondern voneinander divergierend, d.h. ihre Scanachsen  $7_k$  fallen nicht zusammen, schneiden sich jedoch im gemeinsamen Scheitelpunkt  $22_{1,2,3}$ . In der Ausführungsform von Fig. 3d sind die Scanfächer  $8_k$  parallel und in einer Ebene angeordnet, ihre Scheitelpunkte  $22_k$  sind jedoch voneinander beabstandet.

**[0045]** In jeder dieser Ausführungsformen der Fig. 3a - 3d überlappen die Scanfächer  $8_k$  einander in Richtung einer der Scanachsen  $7_k$  gesehen im Wesentlichen in einem gemeinsamen Überlappungsbereich 20 (schraffiert), in welchem somit in Richtung dieser Scanachse  $7_k$  gesehen die Abtastpunkte  $P_{k,n}$  mehrerer Scanfächer  $8_k$  zu liegen kommen. Dadurch scannen jene Scanfächer  $8_k$ , welche in einer Ebene liegen (Fig. 3b und 3d), den Überlappungsbereich 20 konstruktionsbedingt in derselben Ablenkperiode AP; und bei jenen Scanfächern  $8_k$ , welche nicht in derselben Ebene liegen (Fig. 3a und 3c), verfolgt ein in Richtung einer der Scanachsen  $7_k$  gesehen hinterer ("trailing") Scanfächer  $8_{k-1}$  wegen der Relativbewegung zwischen Vorrichtung 1 und Umgebung 2 einen in dieser Richtung gesehen vorderen ("leading") Scanfächer  $8_k$  und scannt dessen bereits vermessenen Teil des gemeinsamen Scanstreifens 9 erneut. So scannt z.B. in den Fig. 3a und 3c der hintere Scanfächer  $8_1$  die Scanzeilen  $10_2, 10_3$  seiner beiden vorderen Scanfächer

8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub>, und der hintere Scanfächer 8<sub>2</sub> die Scanzeilen 10<sub>3</sub> seines vorderen Scanfächers 8<sub>3</sub> erneut.

**[0046]** Die Scanfächer 8<sub>k</sub> sind nicht notwendigerweise eben. Beispielsweise können in der Fig. 3c die in Fortbewegungsrichtung F nach vorne bzw. nach hinten geneigten Scanfächer 8<sub>1</sub>, 8<sub>3</sub> - z.B. aufgrund des Ablenkmechanismus der Laserimpulse 5<sub>k,n</sub> - auf schwach gekrümmten Kegelmantelflächen liegen. Dies kann für die Zwecke der vorliegenden Erfindung unberücksichtigt bleiben.

**[0047]** Anstelle wie in den Fig. 3a - 3d dargestellt könnten die Scanfächer 8<sub>k</sub> auch in beliebiger anderer Lage zueinander liegen, solange sie einander zumindest paarweise jeweils in einem Überlappungsbereich 20 überlappen.

**[0048]** Die Fig. 4 und 5 illustrieren ein unkoordiniertes Aussenden der Impulszüge 4<sub>k</sub> jeder einzelnen Scaneinheit 6<sub>k</sub>, d.h. jeweils ohne Berücksichtigung der anderen Scaneinheiten 6<sub>k</sub>. Dazu sind in Fig. 4 die Intensitäten I<sub>k</sub> der Laserimpulse 5<sub>k,n</sub> für jede Scaneinheit 6<sub>k</sub> über der Zeit t für mehrere Ablenkperioden AP<sub>k,p</sub> (p = 1, 2, ...) ihrer Ablenkeinrichtung 14<sub>k</sub> aufgetragen. In Fig. 5 sind die damit erzeugten Scanzeilen 10<sub>k,p</sub> der Scaneinheiten 6<sub>k</sub> für mehrere Ablenkperioden AP<sub>k,p</sub> dargestellt.

**[0049]** Die Impulszüge 4<sub>k</sub> werden im gezeigten Beispiel synchron mit derselben Impulswiederholrate PRR, d.h. mit einem Impulsabstand  $\tau = 1/PRR$ , ausgesandt. Je nach Größe von Impulsabstand  $\tau$ , Ablenkperiode AP<sub>k,p</sub>, Relativgeschwindigkeit v und Lage der Scanfächer 8<sub>k</sub> stellen sich dadurch unterschiedliche Verteilungen der Abtastpunkte P<sub>k,n</sub> ein: Wenn die Ablenkperiodendauer T<sub>AP</sub> ein Vielfaches des Impulsabstandes  $\tau$  ist, also  $T_{AP} = m \cdot \tau$  (m ... eine natürliche Zahl), kommen die Laserimpulse 5<sub>k,n</sub> innerhalb jeder Ablenkperiode AP<sub>k,p</sub> gleich zu liegen. Dadurch fallen die Scanrichtungen R<sub>k,n</sub> unterschiedlicher Ablenkperioden AP<sub>k,p</sub> einer Scaneinheit 6<sub>k</sub> zusammen und liegen in Fortbewegungsrichtung F gesehen hintereinander. Wenn dabei die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_A$  der Ablenkeinrichtung 14 und/oder die Relativgeschwindigkeit v an eine gemessene oder erwartete Entfernung d<sub>k,n</sub> angepasst wird/werden, kann es je nach Größe dieser Werte und der Topographie der Umgebung 2 passieren, dass die Abtastpunkte P<sub>1,n</sub> (als Rauten dargestellt) und P<sub>2,n</sub> (als Kreise dargestellt) der hinteren Scanfächer 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub> mit den bereits gescannten Abtastpunkten P<sub>3,n</sub> (als Dreiecke dargestellt) des vorderen Scanfächers 8<sub>3</sub> zusammenfallen.

**[0050]** Wenn die Ablenkperiode T<sub>AP</sub> kein Vielfaches des Impulsabstandes  $\tau$  ist, also  $T_{AP} \neq m \cdot \tau$ , verschieben sich die Laserimpulse 5<sub>k,n</sub> von Ablenkperiode AP<sub>k,p</sub> zu Ablenkperiode AP<sub>k,p+1</sub> um eine zeitliche Drift D (Fig. 4), welche die Scanfächer 8<sub>k</sub> aufeinanderfolgender Ablenkperioden AP<sub>k,p</sub> ein und derselben Scaneinheit 6<sub>k</sub> jeweils um die zugehörige Scanachse 7<sub>k</sub> verschwenkt, so dass z.B. die erstabgetasteten Punkte P<sub>k,1</sub> aufeinanderfolgender Ablenkperioden AP<sub>k,p</sub>, AP<sub>k,p+1</sub> einer Scaneinheit 6<sub>k</sub> in Fortbewegungsrichtung F gesehen einen dementsprechenden Ortsversatz S (Fig. 5) erleiden. Wenn nun durch die gemeinsame Fortbewegung der Scaneinheiten 6<sub>k</sub> in Fortbewegungsrichtung F sich die Scanzeilen 10<sub>k</sub> einer "hinteren" Scaneinheit 6<sub>k</sub> über vorherige Scanzeilen 10<sub>k+1</sub> einer "vorderen" Scaneinheit 6<sub>k+1</sub> zu schieben beginnen, wie das in Fig. 4 und 5 für drei beispielhafte Scaneinheiten 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 6<sub>3</sub> gezeigt ist, dann passiert in der Regel Folgendes: Beim mehrfachen Abtasten einer Scanzeile 10, z.B. einmal als erste Scanzeile 10<sub>3,1</sub> der dritten ("vorderen") Scaneinheit 6<sub>3</sub> in deren erster Ablenkperiode AP<sub>3,1</sub>, einmal als vierte Scanzeile 10<sub>2,4</sub> der zweiten ("mittleren") Scaneinheit 6<sub>2</sub> in deren vierter Ablenkperiode AP<sub>2,4</sub> und einmal als siebte Scanzeile 10<sub>1,7</sub> der ersten ("hinteren") Scaneinheit 6<sub>1</sub> in deren siebter Ablenkperiode AP<sub>1,7</sub>, sind die erstabgeschrittenen Scanrichtungen R<sub>1,1</sub>, R<sub>2,1</sub>, R<sub>3,1</sub> der Scaneinheiten 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 6<sub>3</sub> beim Abtasten dieser Scanzeile 10 gegeneinander jeweils um eine Winkeldifferenz  $\Delta\varphi_{21}$ ,  $\Delta\varphi_{31}$ ,  $\Delta\varphi_{32}$  versetzt, sodass die Scanrichtungen R<sub>k,n</sub> aller Scaneinheiten 6<sub>k</sub> den Überlappungsbereich 20 in der mehrfach abgetasteten Scanzeile 10 bzw. (hier:) 10<sub>3,1</sub>, 10<sub>2,4</sub>, 10<sub>1,7</sub> in unregelmäßigen Winkelabständen scannen. Dadurch kommen die Abtastpunkte P<sub>3,n</sub>, P<sub>2,n</sub> bzw. P<sub>1,n</sub> innerhalb dieser Scanzeile 10 bzw. 10<sub>3,1</sub>, 10<sub>2,4</sub>, 10<sub>1,7</sub> jeweils unterschiedlich zu liegen, wodurch die Ortsabstände  $\Delta s_{21}$ ,  $\Delta s_{31}$ ,  $\Delta s_{32}$  zwischen den zugehörigen Abtastpunkten P<sub>1,n</sub>, P<sub>2,n</sub>, P<sub>3,n</sub> der Scaneinheiten 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 6<sub>3</sub> unregelmäßig sind.

**[0051]** Die Fig. 6 und 7 illustrieren, wie ein solches Zusammenfallen oder unregelmäßiges Nebeneinanderfallen der Abtastpunkte P<sub>k,n</sub> unterschiedlicher Scanfächer 8<sub>k</sub> verhindert und die Abtastpunkte P<sub>k,n</sub> gleichmäßiger über die Umgebung 2 verteilt werden können.

**[0052]** Dazu werden, wie in Fig. 6 dargestellt, die Scanfächer 8<sub>2</sub> der zweiten Scaneinheit 6<sub>2</sub> gegenüber den Scanfächern 8<sub>1</sub> der benachbarten ersten Scaneinheit 6<sub>1</sub> und die Scanfächer 8<sub>3</sub> der dritten Scaneinheit 6<sub>3</sub> gegenüber den Scanfächern 8<sub>2</sub> der benachbarten zweiten Scaneinheit 6<sub>2</sub> jeweils um einen Schwenkwinkel  $\lambda_{21}$  bzw.  $\lambda_{32}$  um ihre jeweilige Scanachse 7<sub>k</sub> verschwenkt. Es sei erwähnt, dass die Reihung der Scaneinheiten 6<sub>k</sub> beliebig ist, d.h. welche der Scaneinheiten 6<sub>k</sub> als "erste", "zweite", "dritte" usw. bezeichnet wird, ist beliebig. Der Ausdruck "benachbarte" Scaneinheit 6<sub>k</sub> ist demgemäß nicht im örtlichen Sinne sondern in einem numerischen Sinne in dieser beliebig vorgegebenen Reihung zu verstehen.

**[0053]** Beispielsweise werden bei drei Scaneinheiten 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 6<sub>3</sub> die Schwenkwinkel  $\lambda_{21}$  und  $\lambda_{32}$  so gewählt, dass sie mit der zugehörigen, durch die Drift D verursachten Winkeldifferenz  $\Delta\varphi_{21}$ ,  $\Delta\varphi_{32}$  ein Drittel des Winkels  $\Delta\varphi$  zwischen zwei aufeinanderfolgend abgeschrittenen Scanrichtungen R<sub>k,n</sub> eines Scanfächers 8<sub>k</sub> ergeben, wodurch die Scanrichtungen R<sub>k,n</sub> aller Scanfächer 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub>, 8<sub>3</sub>, wenn sie ein und dieselbe Ebene 23 im Koordinatensystem 11 bezüglich der Umgebung 2 durchschritten ("eingenommen") haben, dort in regelmäßigen Winkelabständen  $\Delta\varphi_r = \Delta\varphi/3$  um die Scanachse 7<sub>k</sub> angeordnet sind. Der Winkel  $\Delta\varphi$  kann als  $\Delta\varphi = \omega/PRR$  bestimmt werden. Insbesondere entspricht der Schwenkwinkel  $\lambda_{k,k-1}$ , vermehrt um die Winkeldifferenz  $\Delta\varphi_{k,k-1}$  zwischen den in diesen zwei Scanfächern 8<sub>k</sub>, 8<sub>k-1</sub> jeweils erstabgeschrittenen Scanrichtungen R<sub>k,1</sub> und R<sub>k-1,1</sub>, dem Winkel  $\Delta\varphi$  zwischen zwei in einem Scanfächer 8<sub>k</sub> aufeinanderfolgend ab-



geschrittenen Scanrichtungen  $R_{k,n}$  dividiert durch die Anzahl  $K$  aller Scaneinheiten  $6_k$ , optional vermehrt um ein Vielfaches dieses Winkels  $\Delta\varphi$ , z.B. ein  $i$ -faches  $i \cdot \Delta\varphi = i \cdot \omega / \text{PRR}$ , wobei  $i$  eine ganze Zahl ist.

**[0054]** Wird zusätzlich die Impulswiederholrate  $\text{PRR}$  von einer gemessenen oder erwarteten Entfernung  $d_{k,n}$  zur Umgebung 2 abhängig gewählt und innerhalb der Ablenkperiode  $\text{AP}_{k,p}$  verändert, können die in Fig. 7 gezeigten, über die ganze Scanzeile  $10_k$  regelmäßigen Abstände  $\Delta s_{21}$ ,  $\Delta s_{31}$ ,  $\Delta s_{32}$  erhalten werden.

**[0055]** Die Fig. 8 und 9 zeigen eine erste praktische Ausführungsform zur Verschwenkung der Scanfächer  $8_k$  auf die in Fig. 6 und 7 beschriebene Art und Weise, u.zw. mittels eines elektronisch erzeugten zeitlichen Versatzes  $V_k$  der Impulszüge  $4_k$  der Scaneinheiten  $6_k$ .

**[0056]** Fig. 8 zeigt die solcherart versetzten Impulszüge  $4_k$  und Fig. 9 das Blockschaltbild einer solchen elektronischen Realisierung einer dreikanaligen Vorrichtung 1 gemäß den Ausführungsbeispielen 3a - 3d. Jede Scaneinheit  $6_k$  umfasst einen Lasersender  $12_k$  und einen zugehörigen Laserempfänger  $18_k$ , die über eine allen Scaneinheiten  $6_k$  gemeinsame Ablenkeinrichtung 14 - jeweils wie in Fig. 2 für einen Kanal gezeigt - zusammenwirken und an einen gemeinsamen Entfernungs-Rechner 19 angeschlossen sind, der die jeweiligen Entfernungen  $d_{k,n}$  zu den Abtastpunkten  $P_{k,n}$  berechnet. Ein Taktgenerator 24 erzeugt einen Steuerimpulszug  $25_1$  für den Lasersender  $12_1$  der ersten Scaneinheit  $6_1$ , welcher daraus den ersten Impulszug  $4_1$  erzeugt. Verzögerungsglieder  $26_2$ ,  $26_3$  verzögern den Steuerimpulszug  $25_1$  in Kaskade jeweils um einen zeitlichen Versatz  $V_{21}$  bzw.  $V_{32}$  und führen die solcherart verzögerten Steuerimpulszüge  $25_2$ ,  $25_3$  den Lasersendern  $12_2$ ,  $12_3$  zu, welche daraus die Impulszüge  $4_2$ ,  $4_3$  der zweiten und dritten Scaneinheiten  $6_2$ ,  $6_3$  erzeugen.

**[0057]** Der in den Verzögerungsgliedern  $26_2$ ,  $26_3$  jeweils anzuwendende zeitliche Versatz  $V_{21}$ ,  $V_{32}$  wird von einem Versatz-Rechner 27 vorgegeben. Der Versatz-Rechner 27 erhält z.B. den Steuerimpulszug  $25_1$  vom Taktgenerator 24 und die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_A$  der Ablenkeinrichtung 14 von einem Winkelgeschwindigkeitssensor 28 und bestimmt daraus die Impulswiederholrate  $\text{PRR}$  bzw. das aktuelle Winkelgeschwindigkeitsprofil  $\omega$  und davon abhängig die zeitlichen Versätze  $V_{21}$ ,  $V_{32}$ .

**[0058]** Der Versatz-Rechner 27 mit den Verzögerungsgliedern  $26_2$ ,  $26_3$  kann somit auch als eine Steuereinrichtung 29 angesehen werden, welche die Impulszüge  $4_k$  der Scaneinheiten  $6_k$  gegeneinander zeitlich versetzt und damit die Scanfächer  $8_k$  um ihre Scanachsen  $7_k$  verschwenkt, u.zw. die zweiten Scanfächer  $8_2$  gegenüber den ersten Scanfächern  $8_1$  um den Winkelversatz  $\lambda_{21}$  und die dritten Scanfächer  $8_3$  gegenüber den zweiten Scanfächern  $8_2$  um den Winkelversatz  $\lambda_{32}$ .

**[0059]** Die Steuereinrichtung 29 kann gemeinsam mit dem Entfernungs-Rechner 19 in einem Prozessorsystem 30 implementiert sein, u.zw. in Hard- und/oder Software.

**[0060]** Insbesondere kann der Versatz-Rechner 27 die zeitlichen Versätze  $V_{21}$ ,  $V_{32}$  für die Ausführungsform von Fig. 3b für eine Winkel-Vergleichmäßigung von Fig. 6 gemäß der folgenden Formel vorgeben:

$$V_{k,k-1} = \frac{1}{K \cdot \text{PRR}} + i \cdot \frac{1}{\text{PRR}} - \frac{1}{\omega} \left[ (R_{k,l,p} - R_{k-1,l,p}) \bmod \frac{\omega}{\text{PRR}} \right] \quad (4)$$

mit

$K$  ..... Anzahl der Scanfächer  $8_k$ ,

$V_{k,k-1}$  zeitlicher Versatz des  $k$ -ten Impulszuges gegenüber dem  $(k-1)$ -ten Impulszug ( $k = 1 \dots K$ ),

$\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,

$\text{PRR}$ ... Impulswiederholrate,

$i$  ..... eine ganze Zahl,

$R_{k,l,p}$ ... erstabgeschrittene Scanrichtung des  $k$ -ten Lasersenders  $12_k$  in einer Referenz-Ablenkperiode  $\text{AP}_{k,p}$ ,

$v$  ..... Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung 1 und Umgebung 2,

$\bmod$ ... Modulo-Operator.

**[0061]** Optional kann der Versatz-Rechner 27 den anzuwendenden zeitlichen Versatz  $V_{21}$ ,  $V_{32}$  auch abhängig von weiteren Werten, z.B. der Relativgeschwindigkeit  $v$ , einer gemessenen oder erwarteten Entfernung  $d_{k,n}$  oder den Lagen der Scaneinheiten  $6_k$ , d.h. deren Positionen und Orientierungen, usw. bestimmen. Dabei kann der Versatz-Rechner 27 die zeitlichen Versätze  $V_{21}$ ,  $V_{32}$  für die Ausführungsform von Fig. 3a für eine Winkel-Vergleichmäßigung von Fig. 6 gemäß der folgenden Formel vorgeben:

$$V_{k,k-1} = \frac{1}{K \cdot \text{PRR}} + i \cdot \frac{1}{\text{PRR}} - \frac{1}{\omega} \left[ \left( R_{k,l,p} - R_{k-1,l,p} + \left[ \omega \cdot \frac{D_{k,k-1}}{v} \bmod (\omega \cdot T_{AP}) \right] \right) \bmod \frac{\omega}{\text{PRR}} \right] \quad (5)$$

mit

K ..... Anzahl der Scanfächer  $8_k$ ,  
 $V_{k,k-1}$  zeitlicher Versatz des k-ten Impulszuges gegenüber dem (k-1) -ten Impulszug ( $k = 1 \dots K$ ),  
 $\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,  
PRR ... Impulswiederholrate,  
i ..... eine ganze Zahl,  
 $R_{k,1,p}$  ..... erstabgeschrittene Scanrichtung des k-ten Lasersenders  $12_k$  in einer Referenz-Ablenkperiode  $AP_{k,p}$ ,  
 $D_{k,k-1}$  ... Distanz zwischen dem k-ten und (k-1)-ten Scanfächer  $8_k$ ,  
v ..... Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung 1 und Umgebung 2,  
 $T_{AP}$ .... Ablenkperiodendauer und  
mod ... Modulo-Operator.

**[0062]** Alternativ kann die Steuereinrichtung 29 auch jeder Scaneinheit  $6_k$  innerhalb jeder Ablenkperiode  $AP_{k,p}$  fixe, auf die Ablenkperiode  $AP_{k,p}$  bezogene Aussendezeitpunkte  $t_{s,k,n}$  zuteilen, z.B. indem sie die Impulszüge  $4_k$  jeder Scaneinheit  $6_k$  pro Ablenkperiode  $AP_{k,p}$  um einen zeitlichen Versatz  $V_k$  verschiebt, den sie gemäß  $V_k = (k-1) / (K \cdot PRR) \cdot D$  bestimmt, wobei D die Drift zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ablenkperioden  $AP_{k,p}$ ,  $AP_{k,p+1}$  ist. Dazu könnte die Steuereinrichtung 29 auch mit der ersten Scaneinheit  $6_1$  verbunden sein, um deren Scanfächer  $8_1$  ebenfalls zu verschwenken.

**[0063]** Die Fig. 10 und 11 zeigen eine zweite praktische Ausführungsform zur Verschwenkung der Scanfächer  $8_k$  mittels einer Steuereinrichtung 29, die anstelle von Verzögerungsgliedern  $26_2$ ,  $26_3$  für zeitliche Versätze nun verstellbare optische Elemente, z.B. elektrooptische Elemente, Spiegel, Prismen, etc. im Strahlengang der Laserimpulse  $5_{k,n}$  der jeweiligen Scanfächer  $8_k$  enthält. Dies wird nachfolgend in drei beispielhaften Varianten anhand der Fig. 10 und 11 illustriert, die jeweils einen möglichen mechanischen Aufbau der Ausführungsformen von Fig. 3a bzw. 3b zeigen.

**[0064]** In einer ersten, in Fig. 10 gezeigten Variante enthält die Steuereinrichtung 29 jeweils einen vom Versatz-Rechner 27 gesteuerten Aktuator  $31_k$  für jede Scaneinheit  $6_k$ , der die Lage ihres Umlenkspiegels  $13_k$  verstellen kann. Dadurch wird eine jeweilige Senderichtung  $9_k$  auf das gemeinsame Spiegelprisma 16 oder das jeweilige Spiegelprisma  $16_k$  normal zur Scanachse  $7_k$  verändert.

**[0065]** In einer zweiten, ebenfalls in Fig. 10 sowie in Fig. 11 gezeigten Variante sind die Lasersender  $12_k$  verstellbar gelagert und der Versatz-Rechner 27 steuert Aktuatoren  $32_k$ , die die Position und/oder Orientierung, d.h. die Lage, des jeweiligen Lasersenders  $12_k$  gegenüber dem gemeinsamen oder jeweiligen Spiegelprisma  $16_k$  und damit die Senderichtung  $9_k$  verändern können.

**[0066]** Es versteht sich, dass zur Laufzeitmessung die Laserimpulse  $5_{k,n}$  der verschwenkten Scanfächer  $8_k$  auch in der ersten und zweiten Variante von den zugehörigen Laserempfängern  $18_k$  empfangen werden müssen. Dazu weisen diese Laserempfänger  $18_k$  in einer Ausführungsform eine Empfangsapertur auf, welche so groß ist, dass die reflektierten Laserimpulse  $5_{k,n}$  sie trotz des Verschwenkens des zugehörigen Scanfächers  $8_k$  passieren. In einer alternativen Ausführungsform behalten diese Laserempfänger  $18_k$  ihre z.B. optimal angepasste Empfangsapertur bei und die Blickrichtungen dieser Laserempfänger  $18_k$  werden mit dem zugehörigen Scanfächer  $8_k$  mitverschwenkt. Für dieses Mitverschwenken könnte die Steuereinrichtung 29 - wie in der ersten bzw. zweiten Variante für den Sendekanal beschrieben - mittels Aktuatoren verstellbare optische Elemente im Empfangskanal oder die Lage dieser Laserempfänger  $18_k$  selbst steuern.

**[0067]** In einer dritten, ebenfalls in Fig. 10 gezeigten Variante steuert der Versatz-Rechner 27 auf einer gemeinsamen Antriebswelle 33 der Spiegelprismen  $16_k$  gelagerte Aktuatoren  $34_k$ , mit denen die Spiegelprismen  $16_k$  jeweils individuell gegenüber der Antriebswelle 33 verdreht werden können, um die Phasenlage  $\varphi_{k,k-1} = \varphi_k - \varphi_{k-1} = \lambda_{k,k-1}/2$  zwischen zwei Spiegelprismen  $16_k$ ,  $16_{k-1}$  einzustellen. Damit werden wieder die Scanfächer  $8_k$  unterschiedlicher Scaneinheiten  $6_k$  gegeneinander verschwenkt.

**[0068]** In den genannten Varianten bildet somit der Versatz-Rechner 27 gemeinsam mit den Aktuatoren  $31_k$ ,  $32_k$ ,  $34_k$  die Steuereinrichtung 29, welche die Scanfächer  $8_k$  der Scaneinheiten  $6_k$  um ihre Scanachsen  $7_k$  verschwenkt.

**[0069]** Für eine Winkel-Vergleichmäßigung der Scanrichtungen  $R_{k,n}$  kann in jeder der genannten drei Varianten der Schwenkwinkel  $\lambda_{k,k-1}$  beispielsweise bestimmt werden als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left( 2 \cdot (\vartheta_k - \vartheta_{k-1}) + \left[ \omega \cdot \frac{D_{k,k-1}}{v} \bmod \frac{360^\circ \cdot 2}{J} \right] \right) \bmod \frac{\omega}{PRR} \quad (1)$$

bzw. in der Ausführungsform von Fig. 11 mit  $D_{k,k-1}=0$  als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left[ 2 \cdot (\vartheta_k - \vartheta_{k-1}) \bmod \frac{\omega}{PRR} \right] \quad (6)$$

bzw. allgemein für parallele Scanfächer  $8_k$ , auch wenn die Senderichtungen  $9_k$  nicht-normal auf die Prismenachse 15 stehen, als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left[ (R_{k,l,p} - R_{k-1,l,p'}) \bmod \frac{\omega}{PRR} \right] \quad (2)$$

mit

K ..... Anzahl der Scanfächer  $8_k$ ,

$\lambda_{k,k-1}$  .. Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers  $8_k$  gegenüber dem (k-1) -ten Scanfächer  $8_{k-1}$  ( $k = 1 \dots K$ ),

$\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,

PRR ... Impulswiederholrate,

i ..... eine ganze Zahl,

$9_k$  .... Senderichtung des k-ten Lasersenders 12<sub>k</sub>,

$R_{k,1,p}$ ... erstabgeschrittene Scanrichtung der k-ten Scaneinheit 6<sub>k</sub> in einer Referenz-Ablenkperiode  $AP_{k,p}$ ,

$R_{k-1,1,p'}$  erstabgeschrittene Scanrichtung der (k-1)-ten Scaneinheit 6<sub>k-1</sub> in jener Ablenkperiode  $AP_{k-1,p'}$ , in welcher ihr Scanfächer  $8_{k-1}$  im Wesentlichen dieselbe Ebene 23 im Koordinatensystem 11 einnimmt wie der Scanfächer  $8_k$

der k-ten Scaneinheit 6<sub>k</sub> in der Referenz-Ablenkperiode  $AP_{k,p}$ ,

$D_{k,k-1}$ .. Distanz zwischen dem k-ten und (k-1)-ten Scanfächer  $8_k$  entlang der Prismenachse 15<sub>k</sub>,

v ..... Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung 1 und Umgebung 2,

J ..... Anzahl der Spiegelflächen 17<sub>j</sub> und

mod ... Modulo-Operator.

**[0070]** Es versteht sich, dass in Gleichungen (1) und (2) bzw. (4), (5) und (6) eine Darstellung der Senderichtungen  $9_k$  bzw. der erstabgeschrittenen Scanrichtungen  $R_{k,1,p}$  jeweils als Skalar zu wählen ist, z.B. als Richtungswinkel in einer für alle Scanfächer  $8_k$  gemeinsamen Projektions-Ebene, beispielsweise bei parallelen Scanfächern  $8_k$  projiziert auf eine gemeinsame Scanfächer-Ebene, wie in Fig. 11 gezeigt.

**[0071]** Selbstverständlich können auch noch weitere, der Ablenkeinrichtung 14 vor- oder nachgeschaltete optische Elemente im Strahlengang der Laserimpulse 5<sub>k,n</sub> vorliegen, welche zur Verschwenkung der Scanfächer  $8_k$  um und/oder entlang der Scanachsen 7<sub>k</sub> vom Versatz-Rechner 27 gesteuert werden können.

**[0072]** Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst alle Varianten, Modifikationen und deren Kombinationen, die in den Rahmen der angeschlossenen Ansprüche fallen.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Vermessung einer Umgebung (2) durch Laufzeitmessung von daran reflektierten Laserimpulsen (5<sub>k,n</sub>) in einem Koordinatensystem (11), umfassend

eine erste Scaneinheit (6<sub>1</sub>) zum Aussenden eines ersten Impulszuges (4<sub>1</sub>) von Laserimpulsen (5<sub>1,n</sub>) über aufeinanderfolgende Ablenkperioden ( $AP_{1,p}$ ) mit einer Impulswiederholrate (PRR), wobei die jeweils in eine Ablenkperiode ( $AP_{1,p}$ ) fallenden Laserimpulse (5<sub>1,n</sub>) in um eine erste Scanachse (7<sub>1</sub>) aufgefächerte erste Scanrichtungen ( $R_{1,n}$ ) ausgesandt werden und so pro Ablenkperiode ( $AP_{1,p}$ ) jeweils einen ersten Scanfächer (8<sub>1</sub>) bilden, den sie mit einem vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen, von ersten Abtastpunkten (P<sub>1,n</sub>) der Umgebung (2) reflektierten Laserimpulse (5<sub>1,n</sub>),

**gekennzeichnet durch**

zumindest eine weitere Scaneinheit (6<sub>k</sub>) zum Aussenden eines weiteren Impulszuges (4<sub>k</sub>) von Laserimpulsen (5<sub>k,n</sub>) über aufeinanderfolgende Ablenkperioden ( $AP_{k,p}$ ) mit derselben Impulswiederholrate (PRR), wobei die jeweils in eine Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ) fallenden Laserimpulse (5<sub>k,n</sub>) in um eine weitere Scanachse (7<sub>k</sub>) aufgefächerte weitere Scanrichtungen ( $R_{k,n}$ ) ausgesandt werden und so pro Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ) jeweils einen weiteren Scanfächer (8<sub>k</sub>) bilden, den sie mit demselben vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen, von weiteren Abtastpunkten (P<sub>k,n</sub>) der Umgebung (2) reflektierten Laserimpulse (5<sub>k,n</sub>),

wobei sich alle Scanfächer ( $8_k$ ) in Richtung einer der Scanachsen ( $7_k$ ) gesehen im Wesentlichen überlappen, und eine an die zumindest eine weitere Scaneinheit ( $6_k$ ) angeschlossene Steuereinrichtung (29), welche dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) jeder weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) gegenüber den Scanfächern ( $8_{k-1}$ ) einer in einer vorgegebenen Reihung der Scaneinheiten ( $6_k$ ) jeweils benachbarten Scaneinheit ( $6_{k-1}$ ) um einen von der Impuls-  
wiederholrate (PRR) und dem Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abhängigen Schwenkwinkel ( $\lambda_{k,k-1}$ ) so zu ver-  
schwenken, dass die weiteren Abtastpunkte ( $P_{k,n}$ ) nicht mit den ersten Abtastpunkten ( $P_{1,n}$ ) zusammenfallen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie auf einem Fahrzeug (3), das für eine Hauptbewegungsrichtung (F) ausgebildet ist, bevorzugt auf einem Luftfahrzeug, mit ihren Scanachsen ( $7_k$ ) jeweils nicht-normal zur Hauptbewegungsrichtung (F) montiert ist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, das Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abhängig von zumindest einem vergangenen Entfernungsmesswert ( $d_{k,n}$ ) der Umgebung (2) vorzugeben.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Scanachsen ( $7_k$ ) zusammenfallen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) jeder weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) gegenüber den Scanfächern ( $8_{k-1}$ ) einer in einer vorgegebenen Reihung der Scaneinheiten ( $6_k$ ) jeweils benachbarten Scaneinheit ( $6_{k-1}$ ) so zu verschwenken, dass die Scanrichtungen ( $R_{k,n}$ ) der Scanfächer ( $8_k$ ), wenn diese im Wesentlichen dieselbe Ebene (23) im Koordinatensystem (11) einnehmen, um die Scanachsen ( $7_k$ ) in regelmäßigen Winkelabständen ( $\Delta\varphi_r$ ) angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel ( $\lambda_{k,k-1}$ ) zwischen den Scanfächern ( $8_k, 8_{k-1}$ ) je zweier in der Reihung einander benachbarter Scaneinheiten ( $6_k, 6_{k-1}$ ), wenn die Scanfächer ( $8_k, 8_{k-1}$ ) im Wesentlichen dieselbe Ebene (23) im Koordinatensystem (11) einnehmen, vermehrt um die Winkeldifferenz ( $\Delta\varphi_{21}, \Delta\varphi_{32}$ ) zwischen den in diesen zwei Scanfächern ( $8_k, 8_{k-1}$ ) jeweils erstabgeschrittenen Scanrichtungen ( $R_{k,1}, R_{k-1,1}$ ), dem Winkel ( $\Delta\varphi$ ) zwischen zwei in einem Scanfächer ( $8_k$ ) aufeinanderfolgend abgeschrittenen Scanrichtungen ( $R_{k,n}, R_{k,n+1}$ ), dividiert durch die Anzahl (K) aller Scaneinheiten ( $6_k$ ), entspricht, optional vermehrt um ein Vielfaches dieses Winkels ( $\Delta\varphi$ ).

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) durch Steuern eines zeitlichen Versatzes ( $V_{21}, V_{32}$ ) beim Aussenden ihres Impulszuges ( $4_k$ ) von Laserimpulsen ( $5_{k,n}$ ) zu verschwenken.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) durch Steuern optischer Elemente im Strahlengang ihrer Laserimpulse ( $5_{k,n}$ ) zu verschwenken.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Scaneinheit ( $6_k$ ) umfasst:

eine Ablenkeinrichtung (14) mit einem um seine Prismenachse ( $15_k$ ) drehbaren Spiegelprisma ( $16_k$ ), dessen Mantelseiten jeweils eine Spiegelfläche ( $17_j$ ) bilden und dessen Prismenachse ( $15_k$ ) die Scanachse ( $7_k$ ) ist, und einen Lasersender ( $12_k$ ) zum Aussenden des jeweiligen Impulszuges ( $4_k$ ) von Laserimpulsen ( $5_{k,n}$ ) in einer jeweiligen Senderichtung ( $9_k$ ) auf die Ablenkeinrichtung (14).

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ablenkeinrichtungen (14) aller Scaneinheiten ( $6_k$ ) durch ein und dieselbe Ablenkeinrichtung (14) gebildet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10 jeweils in Verbindung mit Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel ( $\lambda_{k,k-1}$ ) zwischen den Scanfächern ( $8_k, 8_{k-1}$ ) je zweier in der Reihung einander benachbarter Scaneinheiten ( $6_k, 6_{k-1}$ ) gewählt ist als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left( 2 \cdot (\vartheta_k - \vartheta_{k-1}) + \left[ \omega \cdot \frac{D_{k,k-1}}{v} \bmod \frac{360^\circ \cdot 2}{J} \right] \right) \bmod \frac{\omega}{PRR}$$

mit

K ..... Anzahl der Scanfächer  $8_k$ ,  
 $\lambda_{k,k-1}$  ... Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers  $8_k$  gegenüber dem k-1-ten Scanfächer  $8_{k-1}$  ( $k = 1 \dots K$ ),  
 $\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,  
PRR .... Impulswiederholrate,  
i ..... eine ganze Zahl,  
 $\vartheta_k$  ..... Senderichtung des k-ten Lasersenders  $12_k$ ,  $D_{k,k-1}$  ... Distanz zwischen dem k-ten und k-1-ten Scanfächer ( $8_k$ ) entlang der Prismenachse (15<sub>k</sub>),  
v ..... Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung (1) und Umgebung (2),  
J ..... Anzahl der Spiegelflächen und  
mod .... Modulo-Operator.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lasersender (12<sub>k</sub>) ferner einen im Strahlengang der Laserimpulse (5<sub>k,n</sub>) liegenden verstellbaren Umlenkspiegel (13<sub>k</sub>) aufweist und die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer (8<sub>k</sub>) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit (6<sub>k</sub>) durch Verstellen des Umlenkspiegels (13<sub>k</sub>) zu verschwenken.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lasersender (12<sub>k</sub>) gegenüber der Ablenkeinrichtung (14) verstellbar gelagert und die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer (8<sub>k</sub>) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit (6<sub>k</sub>) durch Steuern der Lage des zugehörigen Lasersenders (12<sub>k</sub>) zu verschwenken.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer (8<sub>k</sub>) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit (6<sub>k</sub>) durch Steuern der Phasenlage ( $\varphi_k$ ) der Drehbewegung des Spiegelprismas (16<sub>k</sub>) zu verschwenken.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Scanfächer (8<sub>k</sub>) vom selben Punkt (22<sub>1,2,3</sub>) ausgehen.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 jeweils in Verbindung mit Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel ( $\lambda_{k,k-1}$ ) zwischen den Scanfächern (8<sub>k</sub>, 8<sub>k-1</sub>) je zweier in der Reihung einander benachbarten Scaneinheiten (6<sub>k</sub>, 6<sub>k-1</sub>) gewählt ist als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left[ (R_{k,1,p} - R_{k-1,1,p'}) \bmod \frac{\omega}{PRR} \right]$$

mit

K ..... Anzahl der Scanfächer (8<sub>k</sub>),  
 $\lambda_{k,k-1}$  ... Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers (8<sub>k</sub>) gegenüber dem k-1-ten Scanfächer (8<sub>k-1</sub>) ( $k = 1 \dots K$ ),  
 $\omega$  ..... durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,  
PRR .... Impulswiederholrate,  
i ..... eine ganze Zahl,  
 $R_{k,1,p}$  ... erstabgeschrittene Scanrichtung der k-ten Scaneinheit (6<sub>k</sub>) in einer Referenz-Ablenkperiode (AP<sub>k,p</sub>),  
 $R_{k-1,1,p'}$  ... erstabgeschrittene Scanrichtung der (k-1) -ten Scaneinheit (6<sub>k-1</sub>) in jener Ablenkperiode (AP<sub>k-1,p'</sub>), in welcher ihr Scanfächer (8<sub>k-1</sub>) im Wesentlichen dieselbe Ebene (23) im Koordinatensystem (11) einnimmt wie der Scanfächer (8<sub>k</sub>) der k-ten Scaneinheit (6<sub>k</sub>) in der Referenz-Ablenkperiode (AP<sub>k,p</sub>), und  
mod .... Modulo-Operator.

#### Geänderte Patentansprüche gemäß Regel 137(2) EPÜ.

1. Vorrichtung zur Vermessung einer dazu relativbewegten Umgebung (2) durch Laufzeitmessung von daran reflektierten Laserimpulsen (5<sub>k,n</sub>) in einem Koordinatensystem (11), umfassend

eine erste Scaneinheit ( $6_1$ ) zum Aussenden eines ersten Impulszuges ( $4_1$ ) von Laserimpulsen ( $5_{1,n}$ ) über aufeinanderfolgende Ablenkperioden ( $AP_{1,p}$ ) mit einer Impulswiederholrate (PRR), wobei die jeweils in eine Ablenkperiode ( $AP_{1,p}$ ) fallenden Laserimpulse ( $5_{1,n}$ ) in um eine erste Scanachse ( $7_1$ ) aufgefächerte erste Scanrichtungen ( $R_{1,n}$ ) ausgesandt werden und so pro Ablenkperiode ( $AP_{1,p}$ ) jeweils einen ersten Scanfächer ( $8_1$ ) bilden, den sie mit einem vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen, von ersten Abtastpunkten ( $P_{1,n}$ ) der Umgebung (2) reflektierten Laserimpulse ( $5_{1,n}$ ),  
 zumindest eine weitere Scaneinheit ( $6_k$ ) zum Aussenden eines weiteren Impulszuges ( $4_k$ ) von Laserimpulsen ( $5_{k,n}$ ) über aufeinanderfolgende Ablenkperioden ( $AP_{k,p}$ ) mit derselben Impulswiederholrate (PRR), wobei die jeweils in eine Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ) fallenden Laserimpulse ( $5_{k,n}$ ) in um eine weitere Scanachse ( $7_k$ ) aufgefächerte weitere Scanrichtungen ( $R_{k,n}$ ) ausgesandt werden und so pro Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ) jeweils einen weiteren Scanfächer ( $8_k$ ) bilden, den sie mit demselben vorgebbaren Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abschreiten, und zum Empfangen der zugehörigen, von weiteren Abtastpunkten ( $P_{k,n}$ ) der Umgebung (2) reflektierten Laserimpulse ( $5_{k,n}$ ),  
 wobei sich alle Scanfächer ( $8_k$ ) in Richtung einer der Scanachsen ( $7_k$ ) gesehen im Wesentlichen überlappen, **gekennzeichnet durch** eine an die zumindest eine weitere Scaneinheit ( $6_k$ ) angeschlossene Steuereinrichtung (29), welche dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) jeder weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) gegenüber den Scanfächern ( $8_{k-1}$ ) einer in einer vorgegebenen Reihung der Scaneinheiten ( $6_k$ ) jeweils benachbarten Scaneinheit ( $6_{k-1}$ ) um einen von der Impulswiederholrate (PRR) und dem Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abhängigen Schwenkwinkel ( $A_{k,k-1}$ ) so zu verschwenken, dass die weiteren Abtastpunkte ( $P_{k,n}$ ) nicht mit den ersten Abtastpunkten ( $P_{1,n}$ ) zusammenfallen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie auf einem Fahrzeug (3), das für eine Hauptbewegungsrichtung (F) ausgebildet ist, bevorzugt auf einem Luftfahrzeug, mit ihren Scanachsen ( $7_k$ ) jeweils nicht-normal zur Hauptbewegungsrichtung (F) montiert ist.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, das Winkelgeschwindigkeitsprofil ( $\omega$ ) abhängig von zumindest einem vergangenen Entfernungsmesswert ( $d_{k,n}$ ) der Umgebung (2) vorzugeben.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Scanachsen ( $7_k$ ) zusammenfallen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) jeder weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) gegenüber den Scanfächern ( $8_{k-1}$ ) einer in einer vorgegebenen Reihung der Scaneinheiten ( $6_k$ ) jeweils benachbarten Scaneinheit ( $6_{k-1}$ ) so zu verschwenken, dass die Scanrichtungen ( $R_{k,n}$ ) der Scanfächer ( $8_k$ ), wenn diese im Wesentlichen dieselbe Ebene (23) im Koordinatensystem (11) einnehmen, um die Scanachsen ( $7_k$ ) in regelmäßigen Winkelabständen ( $\Delta\varphi$ ) angeordnet sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel ( $\lambda_{k,k-1}$ ) zwischen den Scanfächern ( $8_k, 8_{k-1}$ ) je zweier in der Reihung einander benachbarter Scaneinheiten ( $6_k, 6_{k-1}$ ), wenn die Scanfächer ( $8_k, 8_{k-1}$ ) im Wesentlichen dieselbe Ebene (23) im Koordinatensystem (11) einnehmen, vermehrt um die Winkeldifferenz ( $\Delta\varphi_{21}, \Delta\varphi_{32}$ ) zwischen den in diesen zwei Scanfächern ( $8_k, 8_{k-1}$ ) jeweils erstabgeschrittenen Scanrichtungen ( $R_{k,1}, R_{k-1,1}$ ), dem Winkel ( $\Delta\varphi$ ) zwischen zwei in einem Scanfächer ( $8_k$ ) aufeinanderfolgend abgeschrittenen Scanrichtungen ( $R_{k,n}, R_{k,n+1}$ ), dividiert durch die Anzahl (K) aller Scaneinheiten ( $6_k$ ), entspricht, optional vermehrt um ein Vielfaches dieses Winkels ( $\Delta\varphi$ ).
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) durch Steuern eines zeitlichen Versatzes ( $V_{21}, V_{32}$ ) beim Aussenden ihres Impulszuges ( $4_k$ ) von Laserimpulsen ( $5_{k,n}$ ) zu verschwenken.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer ( $8_k$ ) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit ( $6_k$ ) durch Steuern optischer Elemente im Strahlengang ihrer Laserimpulse ( $5_{k,n}$ ) zu verschwenken.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Scaneinheit ( $6_k$ ) umfasst:

eine Ablenkeinrichtung (14) mit einem um seine Prismenachse ( $15_k$ ) drehbaren Spiegelprisma ( $16_k$ ), dessen Mantelseiten jeweils eine Spiegelfläche ( $17_j$ ) bilden und dessen Prismenachse ( $15_k$ ) die Scanachse ( $7_k$ ) ist, und

einen Lasersender (12<sub>k</sub>) zum Aussenden des jeweiligen Impulszuges (4<sub>k</sub>) von Laserimpulsen (5<sub>k,n</sub>) in einer jeweiligen Senderichtung (9<sub>k</sub>) auf die Ablenkeinrichtung (14).

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ablenkeinrichtungen (14) aller Scaneinheiten (6<sub>k</sub>) durch ein und dieselbe Ablenkeinrichtung (14) gebildet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10 jeweils in Verbindung mit Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel (λ<sub>k,k-1</sub>) zwischen den Scanfächern (8<sub>k</sub>, 8<sub>k-1</sub>) je zweier in der Reihung einander benachbarter Scaneinheiten (6<sub>k</sub>, 6<sub>k-1</sub>) gewählt ist als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left( 2 \cdot (\vartheta_k - \vartheta_{k-1}) + \left\lfloor \omega \cdot \frac{D_{k,k-1}}{v} \bmod \frac{360^\circ \cdot 2}{J} \right\rfloor \right) \bmod \frac{\omega}{PRR}$$

mit

K Anzahl der Scanfächer 8<sub>k</sub>,

λ<sub>k,k-1</sub> Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers 8<sub>k</sub> gegenüber dem k-1-ten Scanfächer 8<sub>k-1</sub> (k = 1 ... K),

ω durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkel geschwindigkeitsprofils,

PRR Impulswiederholrate,

i eine ganze Zahl,

9<sub>k</sub> Senderichtung des k-ten Lasersenders 12<sub>k</sub>,

D<sub>k,k-1</sub> Distanz zwischen dem k-ten und k-1-ten Scanfächer (8<sub>k</sub>) entlang der Prismenachse (15<sub>k</sub>),

v Relativgeschwindigkeit zwischen Vorrichtung (1) und Umgebung (2),

J Anzahl der Spiegelflächen und

mod Modulo-Operator.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lasersender (12<sub>k</sub>) ferner einen im Strahlengang der Laserimpulse (5<sub>k,n</sub>) liegenden verstellbaren Umlenkspiegel (13<sub>k</sub>) aufweist und die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer (8<sub>k</sub>) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit (6<sub>k</sub>) durch Verstellen des Umlenkspiegels (13<sub>k</sub>) zu verschwenken.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Lasersender (12<sub>k</sub>) gegenüber der Ablenkeinrichtung (14) verstellbar gelagert und die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer (8<sub>k</sub>) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit (6<sub>k</sub>) durch Steuern der Lage des zugehörigen Lasersenders (12<sub>k</sub>) zu verschwenken.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung (29) dazu ausgebildet ist, die Scanfächer (8<sub>k</sub>) der genannten zumindest einen weiteren Scaneinheit (6<sub>k</sub>) durch Steuern der Phasenlage (φ<sub>k</sub>) der Drehbewegung des Spiegelprismas (16<sub>k</sub>) zu verschwenken.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** alle Scanfächer (8<sub>k</sub>) vom selben Punkt (22<sub>1,2,3</sub>) ausgehen.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 jeweils in Verbindung mit Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel (λ<sub>k,k-1</sub>) zwischen den Scanfächern (8<sub>k</sub>, 8<sub>k-1</sub>) je zweier in der Reihung einander benachbarten Scaneinheiten (6<sub>k</sub>, 6<sub>k-1</sub>) gewählt ist als

$$\lambda_{k,k-1} = \frac{\omega}{K \cdot PRR} + i \cdot \frac{\omega}{PRR} - \left[ (R_{k,1,p} - R_{k-1,1,p'}) \bmod \frac{\omega}{PRR} \right]$$

mit

K Anzahl der Scanfächer (8<sub>k</sub>),

λ<sub>k,k-1</sub> Schwenkwinkel des k-ten Scanfächers (8<sub>k</sub>) gegenüber dem k-1-ten Scanfächer (8<sub>k-1</sub>) (k = 1 ... K),

ω durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit des Winkelgeschwindigkeitsprofils,

PRR Impulswiederholrate,

i eine ganze Zahl,

$R_{k,1,p}$  erstabgeschrittene Scanrichtung der k-ten Scaneinheit ( $6_k$ ) in einer Referenz-Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ),  
 $R_{k-1,1,p'}$  erstabgeschrittene Scanrichtung der (k-1) -ten Scaneinheit ( $6_{k-1}$ ) in jener Ablenkperiode ( $AP_{k-1,p'}$ ), in  
 5 welcher ihr Scanfächer ( $8_{k-1}$ ) im Wesentlichen dieselbe Ebene (23) im Koordinatensystem (11) ein-nimmt wie  
 der Scanfächer ( $8_k$ ) der k-ten Scaneinheit ( $6_k$ ) in der Referenz-Ablenkperiode ( $AP_{k,p}$ ), und  
 mod Modulo-Operator.

5

10

15

20

25

30

35

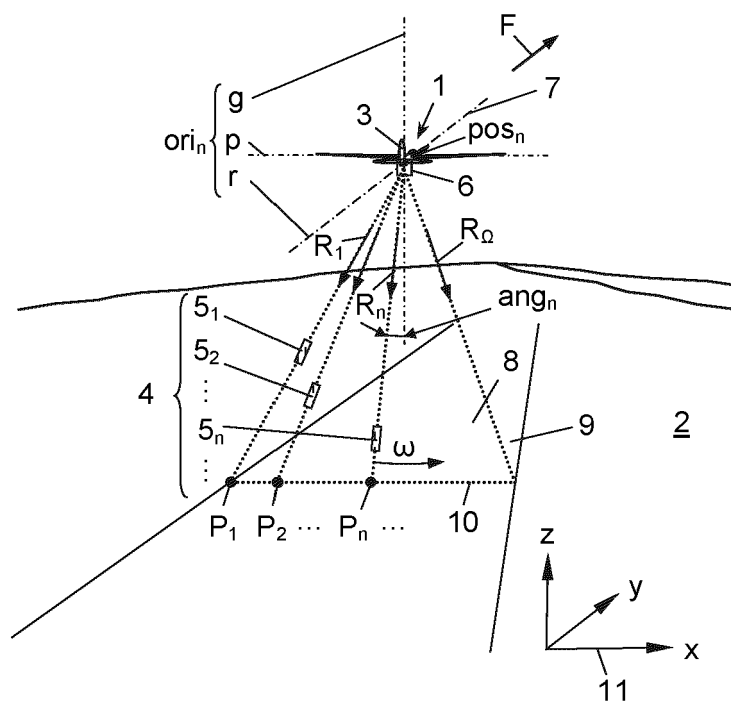
40

45

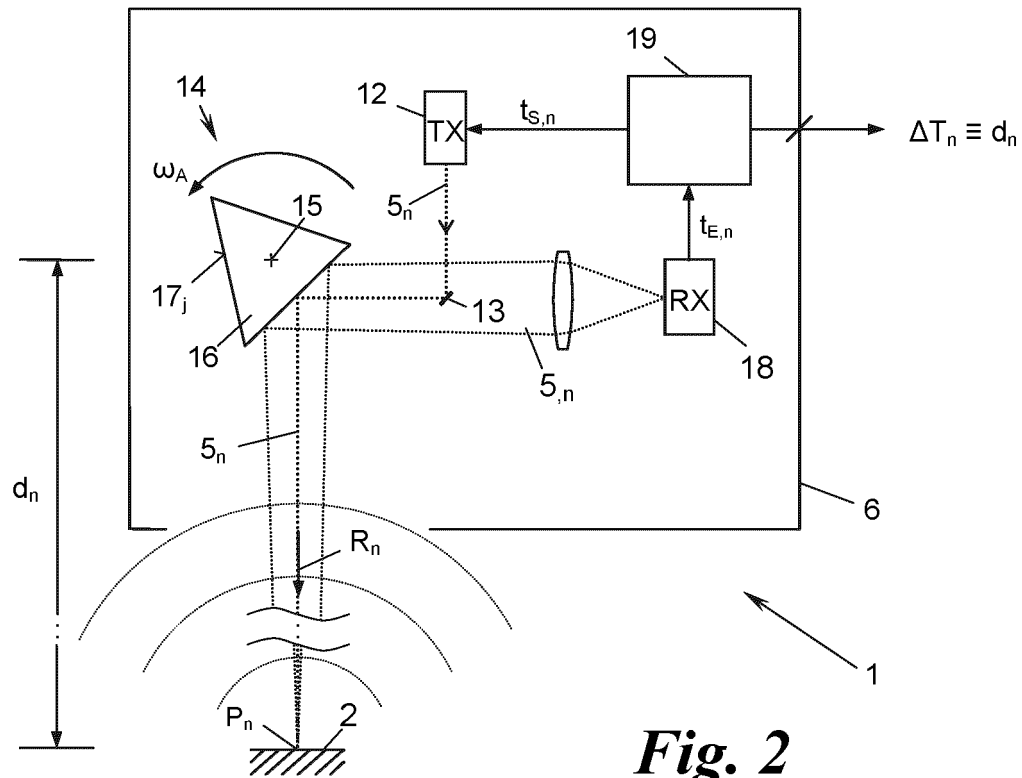
50

55

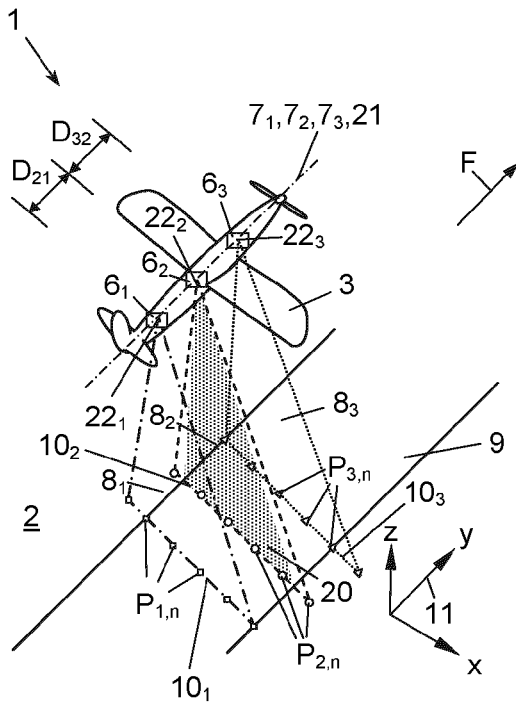




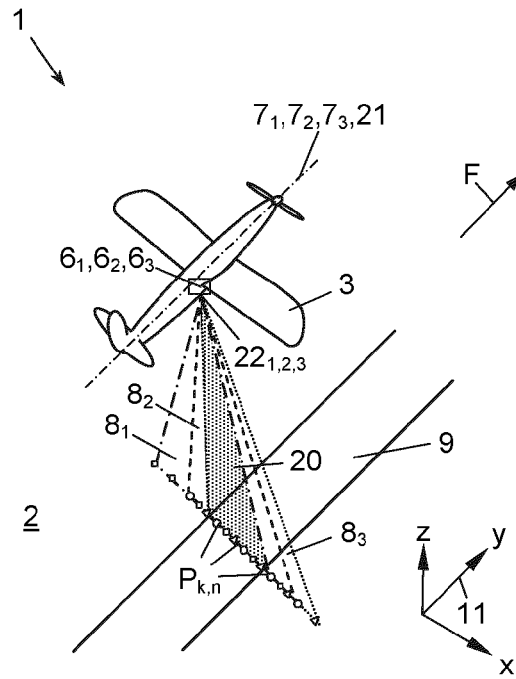
***Fig. 1***



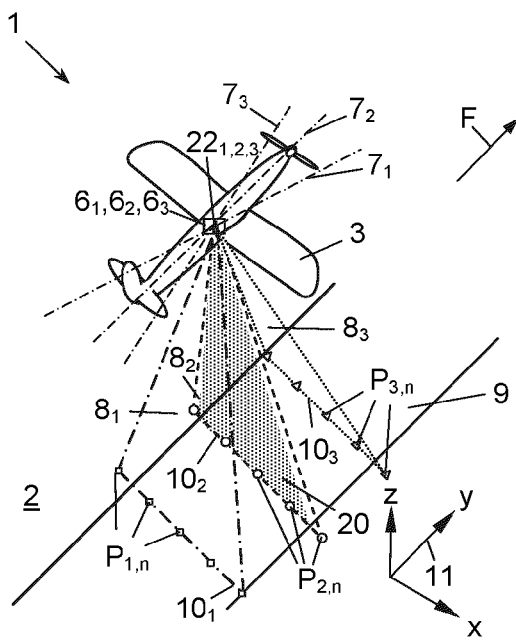
***Fig. 2***

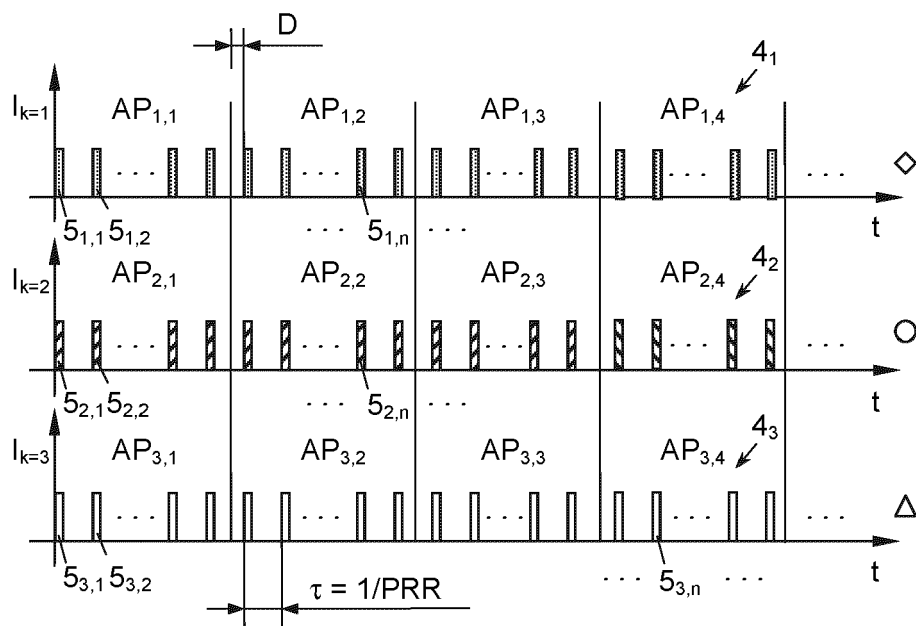


**Fig. 3a**

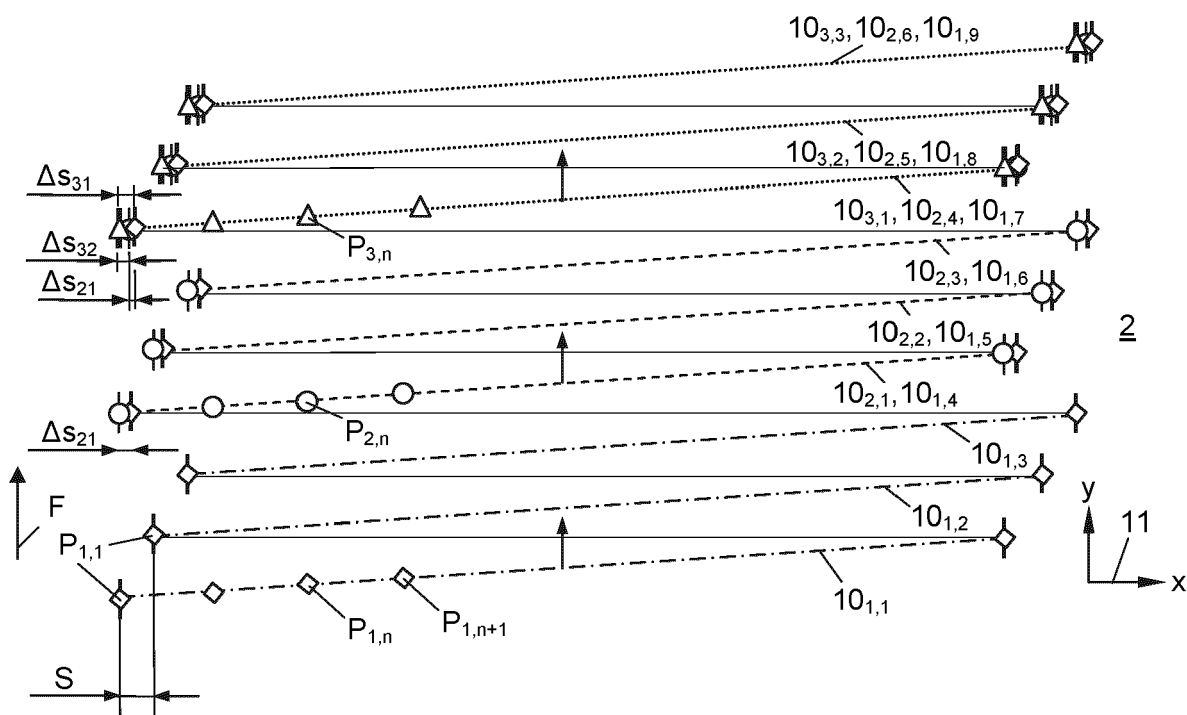


**Fig. 3b**

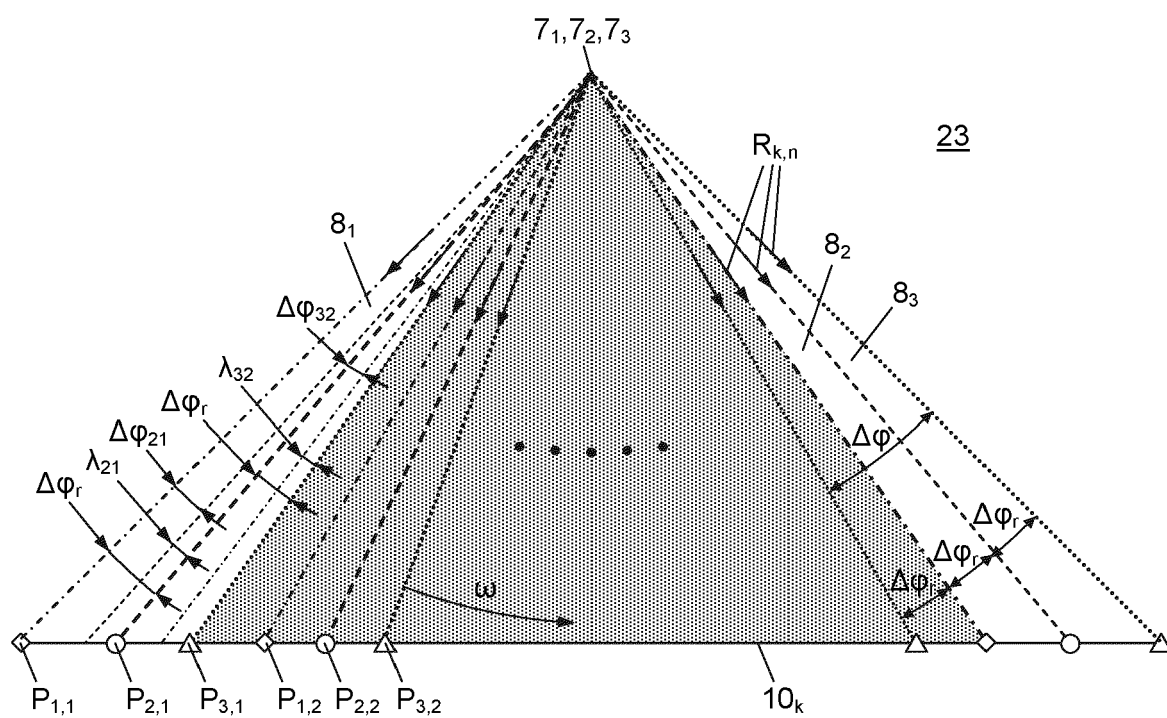




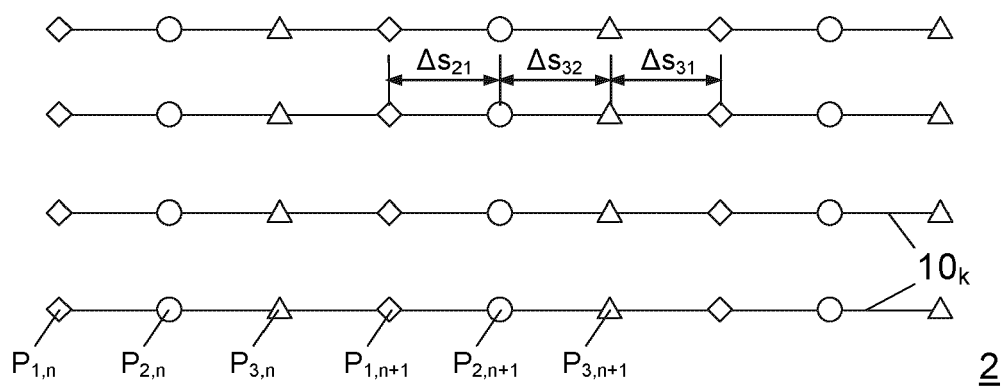
**Fig. 4**



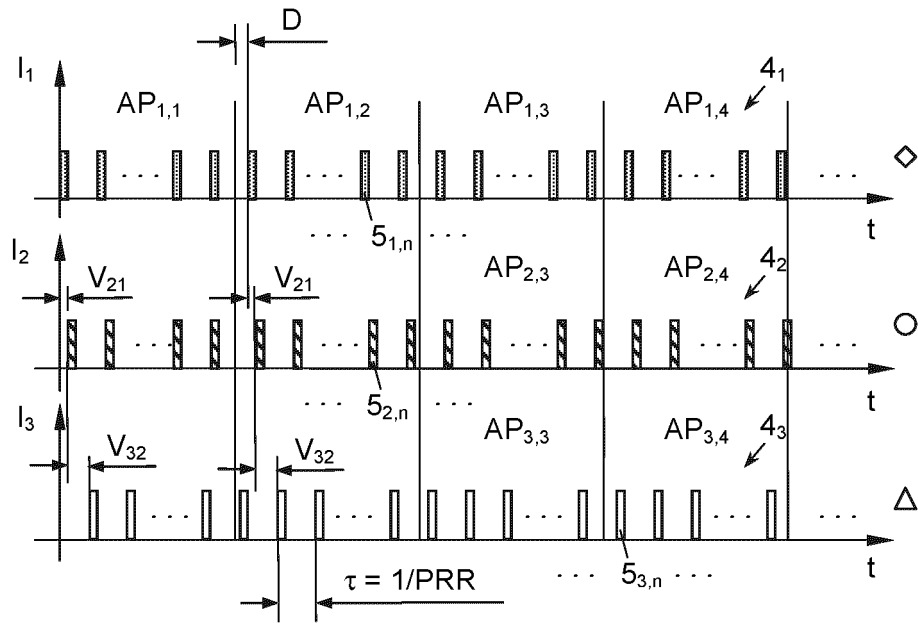
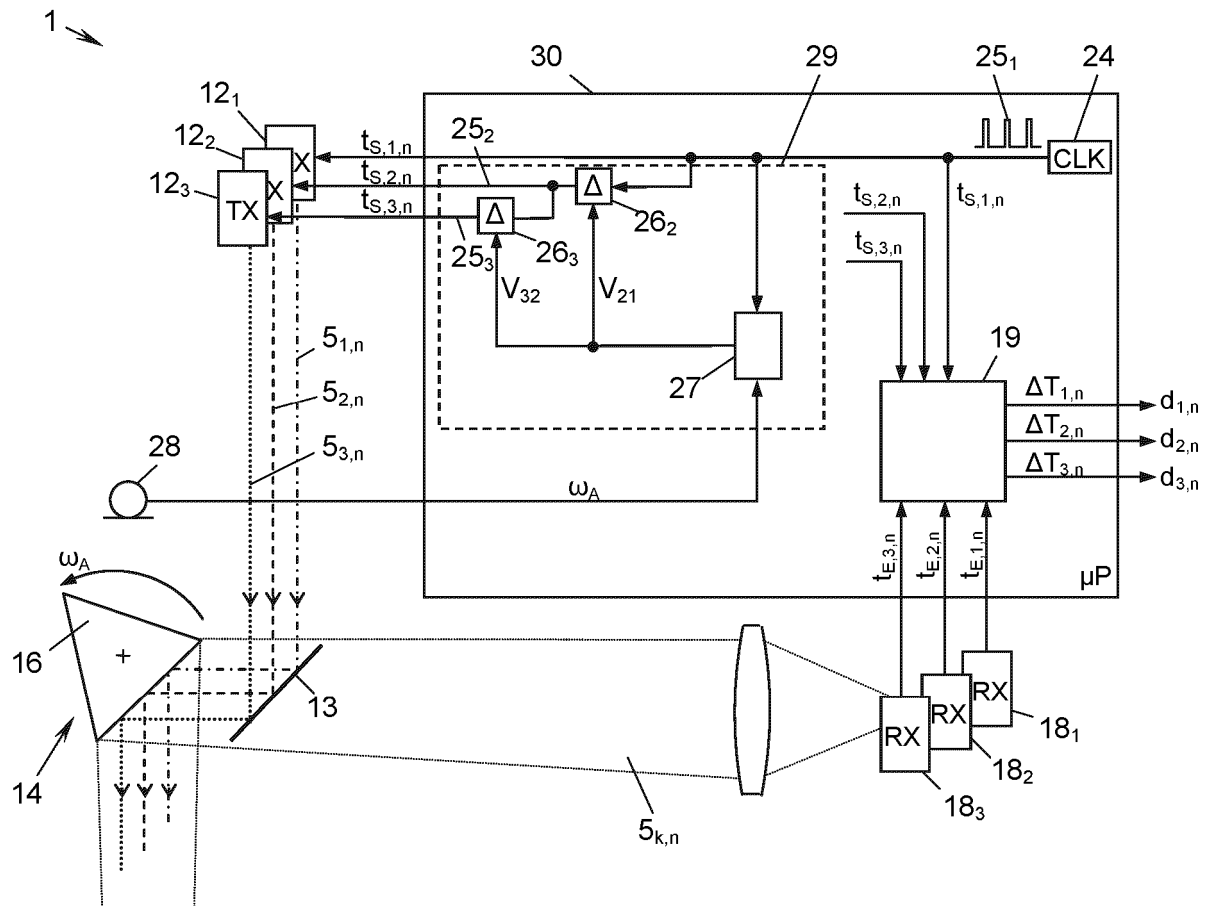
**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**

**Fig. 8****Fig. 9**

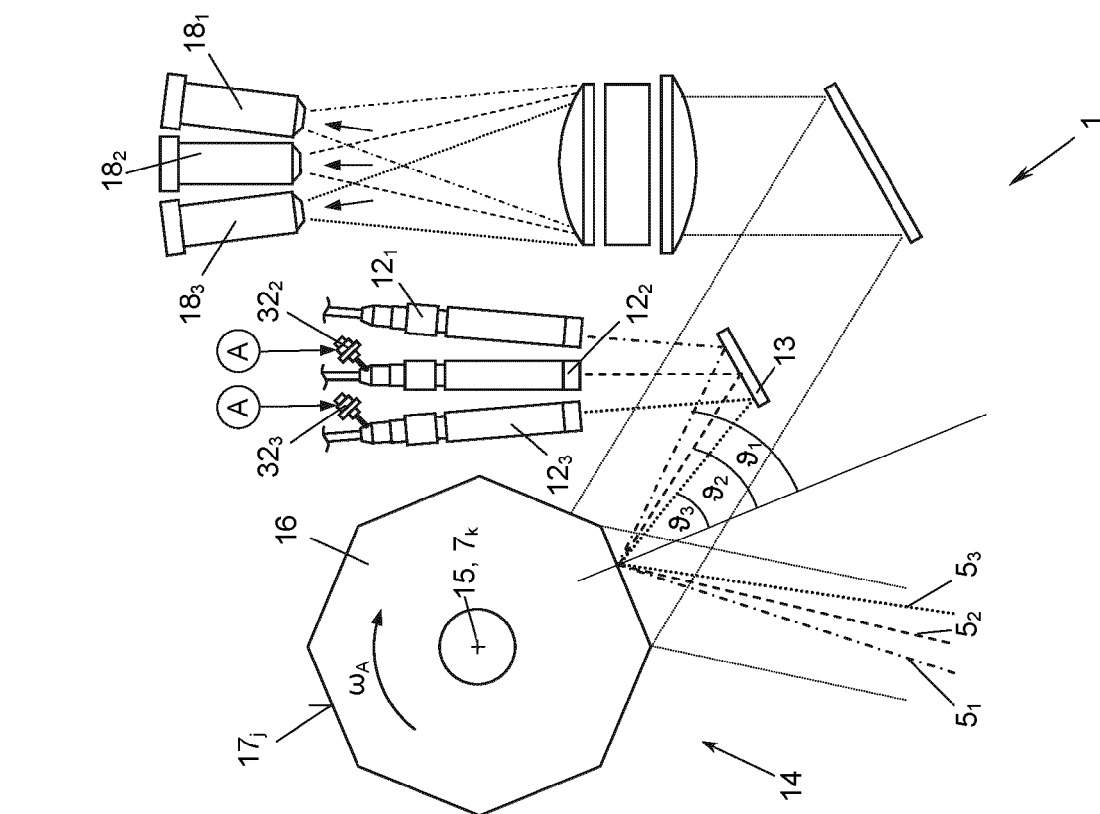


Fig. 11

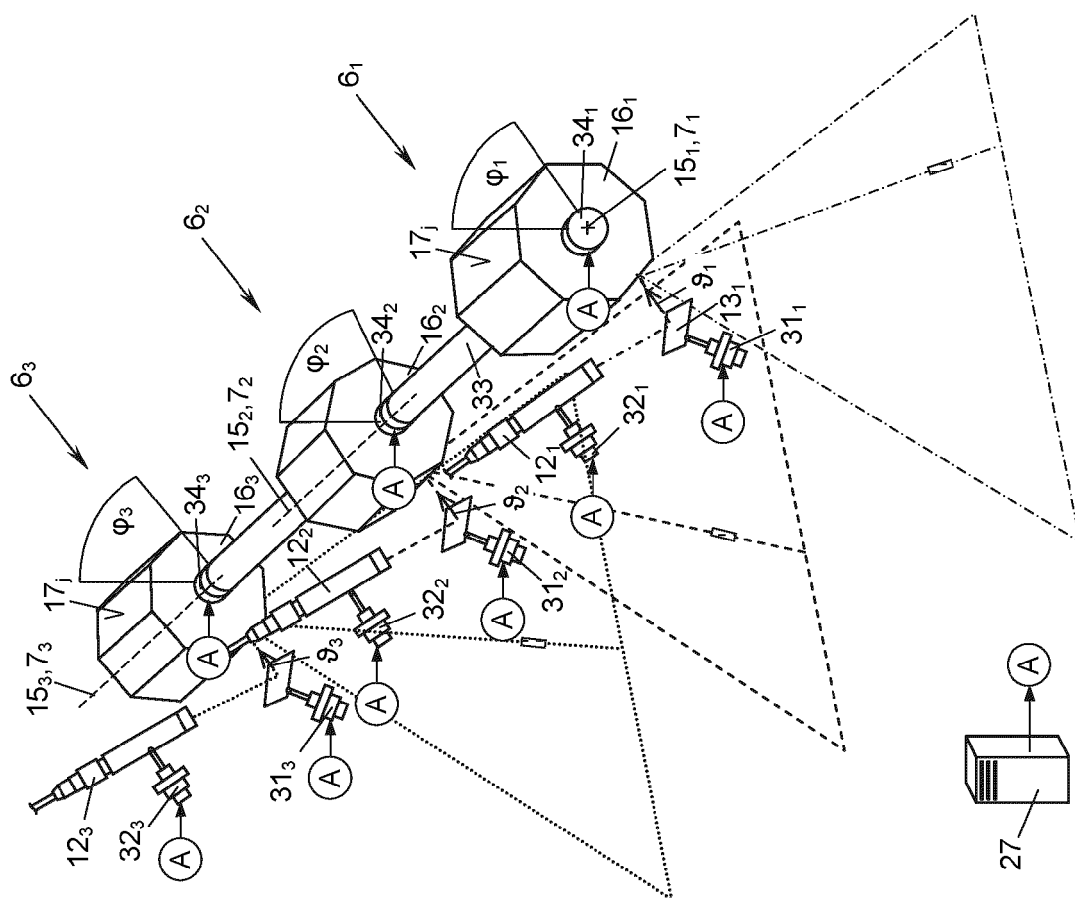


Fig. 10



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 21 16 4901

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2004 050682 A1 (RIEGL LASER MEASUREMENT SYS [AT]) 16. Juni 2005 (2005-06-16) * Absätze [0017] - [0031] * -----	1-16	INV. G01S7/481 G01S17/89
X	US 2019/107623 A1 (CAMPBELL SCOTT R [US] ET AL) 11. April 2019 (2019-04-11) * Absätze [0077] - [0172] * -----	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			G01S
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>27. August 2021</b>	Prüfer <b>Damp, Stephan</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 16 4901

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-08-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102004050682 A1	16-06-2005	AT 413452 B	15-03-2006
			CH 697595 B1	15-12-2008
			DE 102004050682 A1	16-06-2005
15	-----	-----	-----	-----
	US 2019107623 A1	11-04-2019	US 2019107607 A1	11-04-2019
			US 2019107623 A1	11-04-2019
	-----	-----	-----	-----
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 3182159 B1 [0002]